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 :
www.formav.co/explorer

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR

SYSTÈMES PHOTONIQUES

ÉPREUVE E4 : ÉTUDE D'UN SYSTÈME OPTIQUE

SOUS-ÉPREUVE E41 : PRE-ÉTUDE ET MODÉLISATION D'UN SYSTÈME OPTIQUE

SESSION 2018

Coefficient 2 – Durée 2,5 heures

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

Constitution du sujet :

- **Dossier Sujet** *(mise en situation et questions à traiter par le candidat)*
  - **Mise en situation** ……...Page 2
  - **PARTIE 1** ..... Pages 3 à 5
  - **PARTIE 2** ..... Pages 6 à 8
  - **PARTIE 3** ..... Pages 9 à 10
- **Annexes sur le support d'étude** ..... Pages 11 à 15
- **Documents Réponse** ..... Pages 16 à 18

Les différentes parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les documents réponse DR1 à DR3 (pages 16 à 18) seront à rendre agrafés avec vos copies.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Mise en situation



Présentation : Le système étudié est un vidéoprojecteur utilisant la technologie DLP (Digital Light Processing) : une lampe ultra haute performance (UHP) éclaire une roue fragmentée en secteurs colorés, qui tourne à la vitesse de 7200 tr/min. Le faisceau est focalisé sur une matrice DMD de micro-miroirs (DMD : deviced micromirrors), qui peuvent s'orienter ; cette matrice de 600x800 miroirs est projetée sur un écran grâce au bloc objectif.

Le vidéoprojecteur peut se schématiser par la figure 1 ci-dessous.

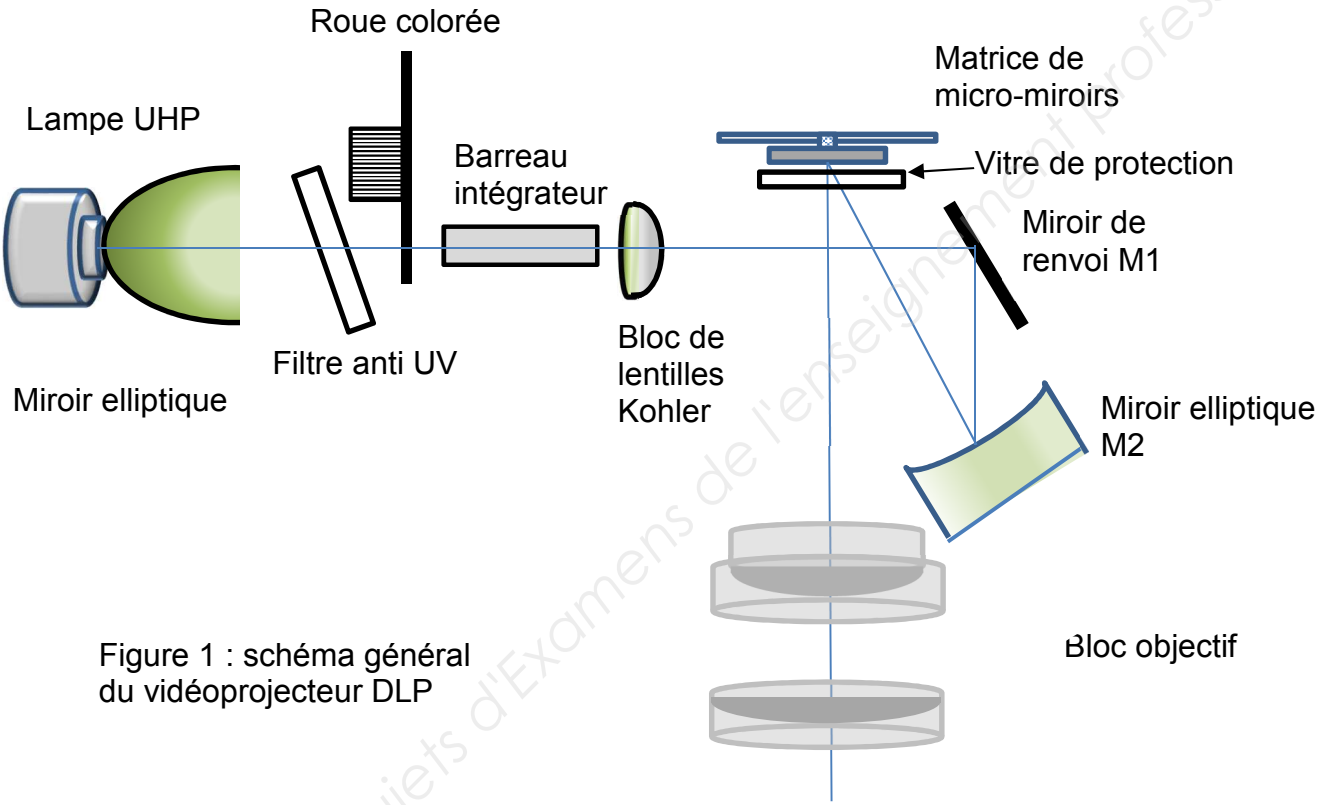
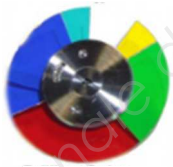
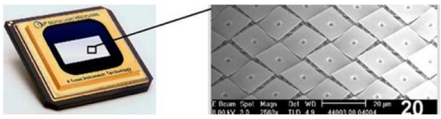


Figure 1 : schéma général du vidéoprojecteur DLP

Roue de couleurs	Matrice micro-miroirs
 *Brillant Color RGBCYW - Graphics*	

Ce sujet est composé de 3 parties.

Partie 1 : choix de la lampe UHP : spectre d'émission et étude énergétique.
Partie 2 : les filtres (filtre anti UV et filtres de la roue colorée).
Partie 3 : caractérisation par diffraction de la matrice de micro-miroirs et mise en forme du faisceau.

Banque Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

PARTIE 1. Choix de la lampe UHP et étude énergétique (5 points)

La source de lumière est une lampe UHP à halogénures métalliques. Le principal métal vaporisé est le mercure.

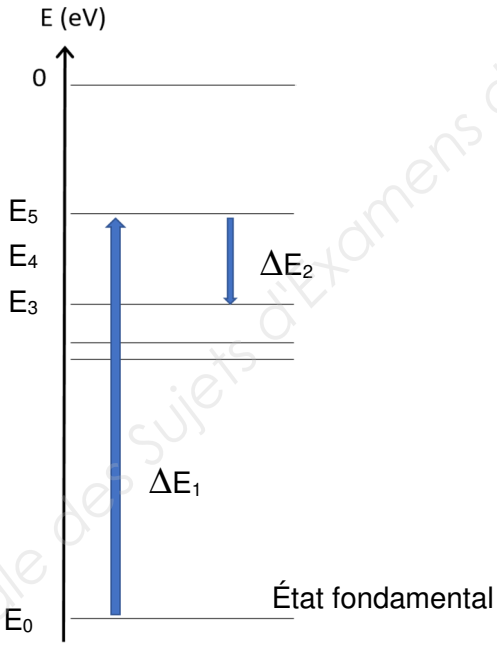
On se propose dans cette partie :
- de justifier le choix d'une lampe UHP à vapeur de mercure ;
- de justifier la présence d'un radiateur de refroidissement à proximité de la lampe.

Spectre d'émission

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 de la lampe à vapeur métallique UHP en rédigeant un paragraphe argumenté de quelques lignes.

La figure 2 représente quelques niveaux d'énergie du vanadate d'yttrium dopé à l'europium, substance déposée sur l'intérieur du verre de la lampe aux halogénures métalliques (annexe 1, document 2).

ΔE_1 correspond à l'énergie absorbée par un électron lors d'une transition depuis l'état fondamental vers un état excité E_5 et ΔE_2 l'énergie libérée lors de la transition depuis l'état E_5 à l'état E_3 dans le phénomène de désexcitation.



Données :

ΔE_1 = 3,40 eV

ΔE_2 = - 1,94 eV

$h = 6{,}62.10^{-34}$ J.s (constante de Planck)

$c = 3.10^8 m.s^{-1}$ (vitesse de la lumière dans le vide ou dans l'air)

1 eV = $1{,}6.10^{-19}$ J

Figure 2 : quelques niveaux d'énergie du vanadate d'yttrium dopé à l'europium.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

1.2 Justifier quantitativement la phrase : « Le vanadate d'yttrium dopé à l'europium sert de luminophore : lorsqu'il subit une excitation, il émet de la lumière. Une grande partie du rayonnement UV est ainsi convertie en rayonnement correspondant aux grandes longueurs d'onde du visible et à des IR »

Étude énergétique

La lampe choisie par le constructeur, de puissance 200 W, a une efficacité lumineuse de 45 lm/W.

Les normes AFNOR préconisent une luminance de 48 cd/m² à une distance de 3 m pour une vision optimale de l'image projetée.

Pour cela, le flux lumineux à la sortie du vidéoprojecteur doit avoir une valeur de 3200 lm.

On note Φ_P le flux lumineux émis par le vidéoprojecteur et Φ_L celui émis par la lampe.

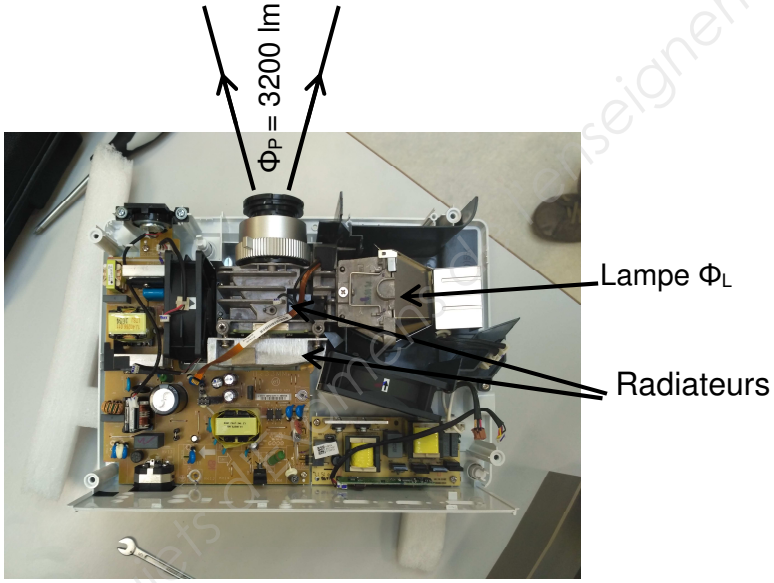


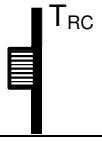
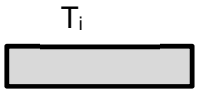
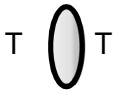
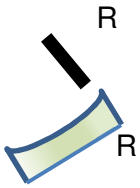
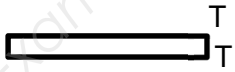
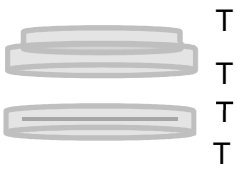
Figure 3 : vue d'ensemble du vidéoprojecteur

1.3. À l'aide de la figure 1 et du tableau de la page suivante, montrer que le flux lumineux émis par le vidéoprojecteur Φ_P peut s'exprimer par $\Phi_P = T^{12} \times T_{RC} \times R^2 \times R_M \times \Phi_L$

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).

Base Nationale des sujets d'examen de l'enseignement professionnel

Tableau des éléments optiques traversés par la lumière dans le vidéoprojecteur

Eléments optiques traversés	Représentation schématique des éléments optiques	Valeurs des coefficients de transmission ou de réflexion
Filtre anti UV		T = 0,985
Roue colorée		T_{RC} = 0,52
Barreau intégrateur		Ti = 1
Lentille de focalisation L_1		T = 0,985
Miroir de renvoi M_1 et miroir elliptique M_2		R = 1 R = 1
Vitre de protection		T = 0,985
Matrice de micromiroirs		R_M = 0,83
Objectif		T = 0,985

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

PARTIE 2. Les filtres (9 points)

Cette partie comprend deux sous-parties : l'étude de la position du filtre anti UV et l'étude de la roue colorée.

Filtre anti UV

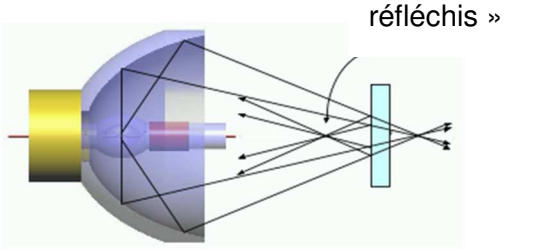


Figure 4a : lampe UHP et filtre anti UV non incliné

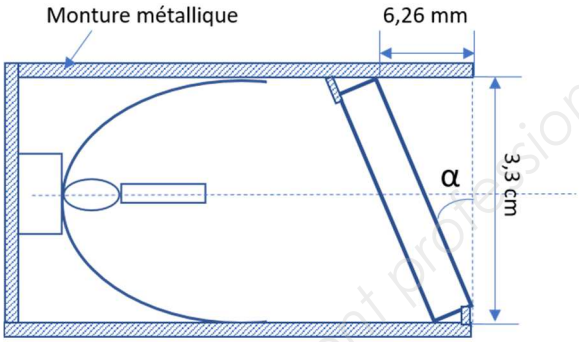


Figure 4b : lampe UHP et filtre anti UV incliné (vue de dessus)

La lampe à mercure est équipée d'un miroir elliptique dichroïque qui permet de focaliser la lumière sur la roue de couleurs (figure 1).

Le spectre d'émission de la lampe au mercure UHP contenant malgré tout encore une part de rayonnement UV, allant de 200 nm à 350 nm, il faut placer un filtre anti UV à la sortie de la lampe (figures 1, 4a et 4b).

2.1. Choisir dans l'annexe 2, en justifiant votre réponse, le filtre adapté à la lampe UHP.

2.2. Les figures 4a et 4b présentent deux configurations possibles de positionnement du filtre anti UV. Pour des raisons énergétiques, la configuration de la figure 4b est celle retenue par le constructeur.

a) Calculer l'angle α en degrés.

b) Construire, sur le **document réponse 1 DR1 à rendre avec la copie**, les 3 rayons, dans la gamme des ultraviolets, réfléchis par la face avant du filtre anti UV.

c) Que se passe-t-il dans la configuration 4a ? Conclure sur l'intérêt de l'inclinaison du filtre anti UV.

Filtres de la roue colorée

Pour améliorer les nuances de couleurs de l'image projetée, le fabricant a choisi d'équiper le vidéoprojecteur d'une roue de couleur à 5 secteurs : R,G,B,C,Y. (red, green, blue, cyan, yellow) au lieu de 3 (R,G,B : red, green, blue) : on cherche à comprendre l'intérêt du choix de cette technologie « brilliant color ».

Les secteurs colorés sont des filtres interférentiels ; un schéma de principe est présenté sur la figure 5. Ils constituent une cavité Pérot-Fabry. En toute rigueur, ces filtres sont constitués

Banque nationale des sujets - Communs de l'enseignement professionnel

d'une multitude de couches de matériaux (composants partiellement diélectriques réfléchissants, couches de métaux…) d'indices différents.

Pour simplifier l'étude, on supposera le filtre constitué d'une seule couche d'un matériau dont l'indice moyen serait $n = 2{,}71$ et d'épaisseur $e = 100$ nm. On néglige les effets de la réfraction dans tous les autres matériaux. On se place à l'ordre 1.

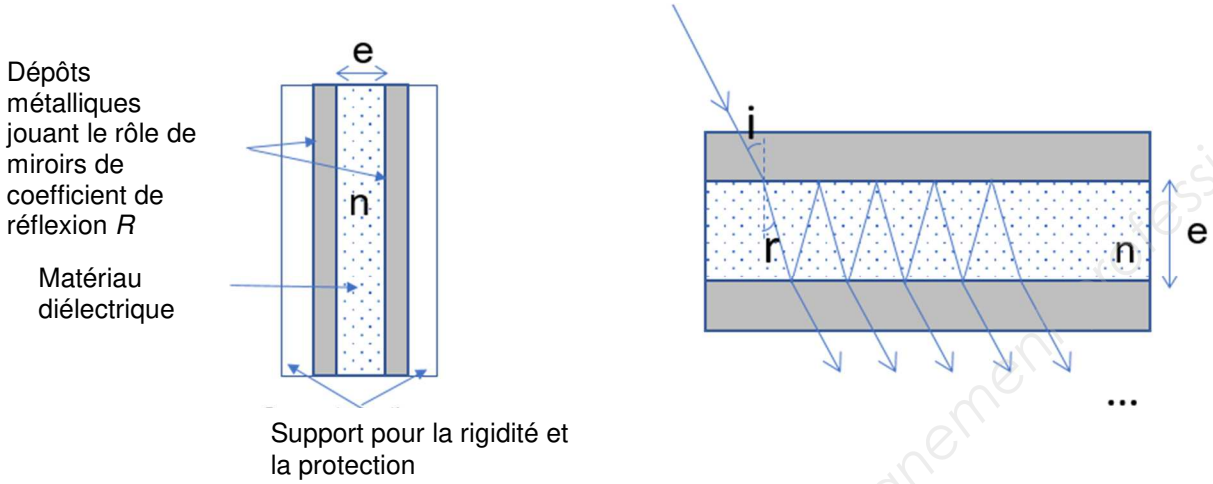


Figure 5 : schémas de principe d'un filtre interférentiel

Données.

- Intensité lumineuse à la sortie du filtre Pérot-Fabry :

$$I = \frac{I_0}{1+m\sin^2(\frac{\varphi}{2})} \quad avec\ m = \frac{4R}{(1-R)^2} \quad et\ \varphi = \frac{2\,\pi\,\delta}{\lambda}$$

où R est le coefficient de réflexion sur une face du filtre , φ et δ respectivement le déphasage et la différence de marche entre deux rayons émergents successifs.

On note λ_0 la longueur d'onde correspondant au maximum de lumière dans le cas où $k = 1$ et pour une incidence $i = 0°$.

- Différence de marche δ entre 2 rayons successifs pour une incidence i :

$$\delta = 2.n.e.\cos(r)$$

- Longueur d'onde de la radiation transmise dans le cas d'une incidence i :

$$\lambda = \lambda_0 . \cos(r).$$

2.3. Montrer que l'intensité lumineuse à la sortie du filtre est bien maximale pour $\delta = k\lambda$ où k est un entier relatif.

2.4. Calculer λ_0.

2.5. Le graphique 1 de l'annexe 3 présente des mesures expérimentales de transmission par les filtres vert et jaune de la roue de couleur lorsque celle-ci est éclairée :
- par un faisceau d'incidence nulle pour le filtre vert ;
- par un faisceau d'incidence $i = 40°$ pour les filtres vert et jaune.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Il comprend également le spectre d'émission de la lampe UHP.

a) Mesurer la longueur d'onde centrale λ_0 transmise par le filtre vert dans le cas d'une incidence nulle (i = 0°) ainsi que la largeur $\Delta\lambda$ à mi-hauteur (on prendra dans la bande passante un coefficient de transmission égal à 96 %).

b) Cette valeur est-elle en accord avec la valeur théorique obtenue précédemment ?

Le faisceau transmis par le filtre anti UV a une ouverture numérique de l'ordre de 0,64 (les rayons du faisceau incident sur le filtre n'étant pas parallèles).

2.6. Estimer pour le filtre anti UV étudié précédemment la plage de longueur d'onde qui est ainsi transmise.

En fait, le filtre anti UV est constitué de multiples couches anti reflet élargissant sa bande de transmission dans le spectre visible.

Le graphique 1 de l'annexe 3 montre que dans les conditions expérimentales de la figure 6b, la bande passante du filtre vert est alors décalée vers les faibles longueurs d'onde.

2.7. Quelle pourrait être la conséquence d'une importante ouverture numérique pour le rendu des couleurs par le vidéoprojecteur ?

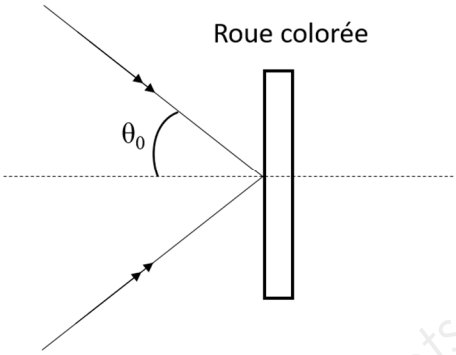


Figure 6a : faisceau incident sur la roue colorée

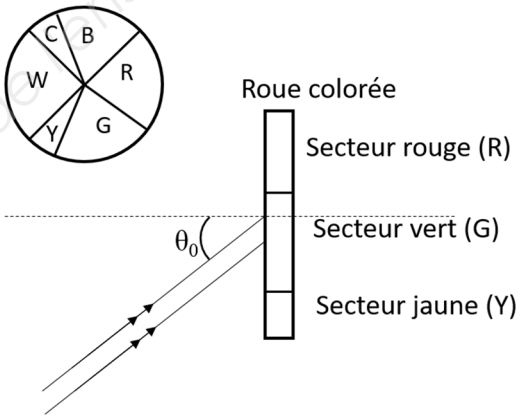


Figure 6b : faisceau parallèle avec une incidence maximale θ_0 sur la roue.

2.8. Expliquer le choix fait par le constructeur d'une roue colorée à 5 couleurs (R, G, B, Y, C : technologie « brilliant color ») plutôt que d''une roue à 3 couleurs R, G, B. Vous justifierez votre réponse à l'aide des graphiques 1 et 2 de l'annexe 3.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

PARTIE 3. La matrice de micro-miroirs (6 points)

Le vidéoprojecteur étudié utilise une matrice de micro-miroirs carrés, qui réfléchit vers l'objectif, la lumière provenant de la source (figure 1).

Cette partie se propose d'utiliser le phénomène de diffraction pour déterminer les dimensions de la matrice dans le cas d'une matrice 600x800 et d'étudier ensuite le système de mise en forme du faisceau.

Détermination par diffraction des dimensions de la matrice

La matrice de micro-miroirs peut être considérée comme un réseau en réflexion à 2 dimensions, l'élément diffractant étant un micro-miroir carré, de côté a.

3.1. L'annexe 4 regroupe les éléments de l'expérience de diffraction réalisée.

a) Sur les figures du **document réponse DR2 à rendre avec la copie** et à l'aide de l'annexe 4, placer les grandeurs *D*, *x* et *a*.

b) Calculer la largeur d'un micro-miroir.

3.2. Les micro-miroirs sont en réalité distants de 1µm dans les 2 directions. La matrice est constituée de 600x800 miroirs de 13,2 µm de côté. Vérifier que les dimensions de la matrice des micro-miroirs sont bien : $h = 0{,}85$ cm et $L = 1{,}14$ cm.

Mise en forme du faisceau

La matrice des micro-miroirs doit être éclairée de manière homogène sur toute sa surface pour produire une image projetée de qualité. Le constructeur a choisi de disposer les éléments optiques servant à la projection selon un montage de Köhler modélisé par le schéma de la figure 7.

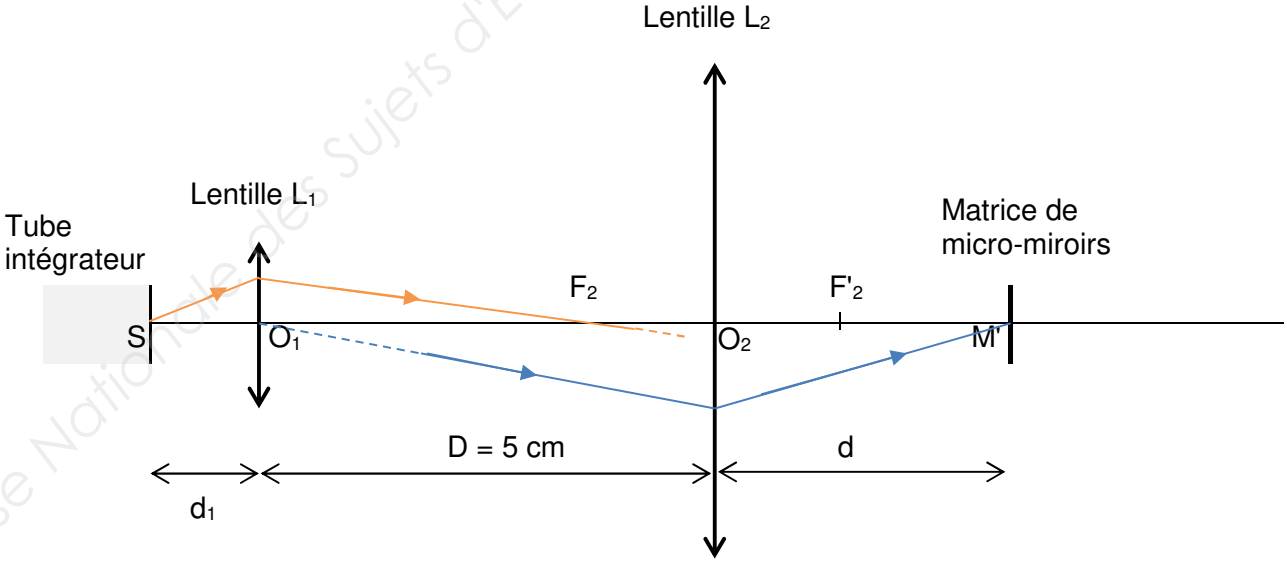


Figure 7 : montage de Köhler (schéma non à l'échelle)

Base Nationale des Sujets d'Examen de l'enseignement professionnel

Caractéristiques de ce montage

- L'image du point S (en sortie du tube intégrateur) est située au foyer objet de la lentille L_2. Le plan de sortie du tube intégrateur et le plan focal objet de L_2 sont donc conjugués par L_1.
- Les plans de la matrice de micro-miroirs et de la lentille L_1 sont conjugués par la lentille L_2. Ainsi, les points O_1 et M' sont conjugués par L_2.

Données

	Diamètre (cm)	Distance focale image
Lentille L_1	D_1	$f'_1 = 0{,}85$ cm
Lentille L_2	5 cm	$f'_2 = 1{,}9$ cm

Relation de conjugaison pour une lentille mince : $\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'}$

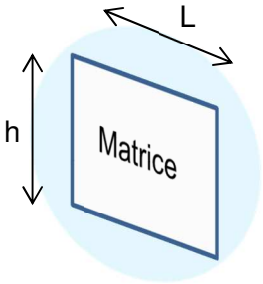
Grandissement : $\gamma = -\frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$

O : centre optique de la lentille.

A et A' : points conjugués objet et image situés sur l'axe optique.

Dimensions de la source (face de sortie du barreau intégrateur) : 6 mm x 4 mm.

3.3. À partir des caractéristiques du montage de Köhler, et des données ci-dessus, déterminer les distances d, d_1 et le diamètre D_1 de la lentille L_1 (la matrice de micro-miroirs doit être éclairée uniformément sur toute sa surface comme représenté en perspective sur la figure ci-contre).



3.4. Compléter le schéma du **document réponse DR3 à rendre avec la copie** :

- en représentant sans souci d'échelle les différents éléments du montage et en plaçant les foyers des deux lentilles ;
- en traçant deux faisceaux éclairant la totalité de la lentille L_1, traversant les lentilles L_1 et L_2, l'un issu du point S et l'autre issu d'un point S_1 (*les traits de construction seront représentés*).

3.5. Pourquoi ce montage permet-il d'assurer un éclairement homogène de la matrice de micro-miroirs ?

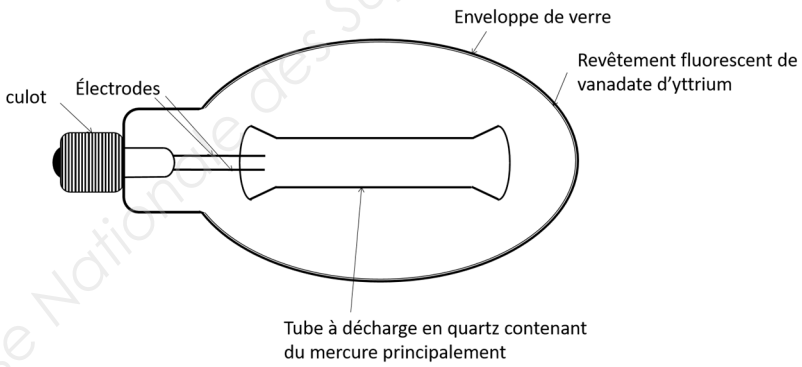
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXE 1. Choix de la lampe : spectre d'émission et étude énergétique

Document 1. Caractéristiques de quelques lampes

Lampe	Durée de vie (heures)	IRC	Efficacité lumineuse lm/W
Incandescente	1000-3000	100	15
Au sodium basse pression	16000	<20	210
Au sodium haute pression	6000-20000	30	68-140
Au mercure haute pression	9000-15000	37-60	35-60
Aux halogénures métalliques haute pression (UHP)	>6000	85	40-90

Document 2. Principe d'une lampe au mercure UHP



Le vanadate d'yttrium dopé à l'europium sert de luminophore : lorsqu'il subit une excitation, il émet de la lumière. Une grande partie du rayonnement UV est ainsi converti en rayonnement correspondant aux grandes longueurs d'onde du visible et à des IR.

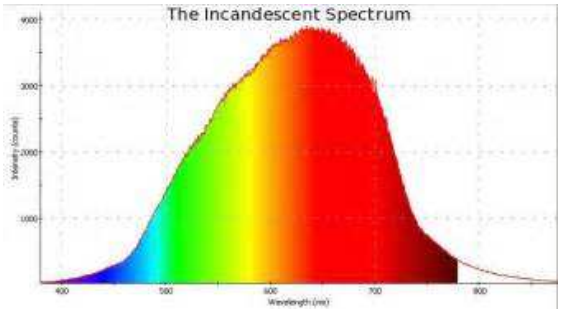
Source : https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=17533

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

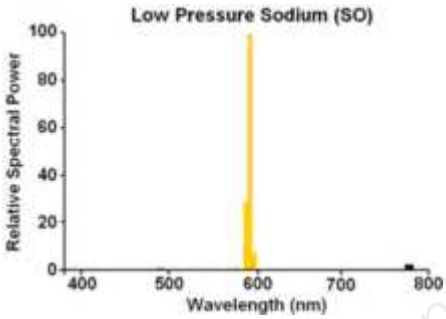
ANNEXE 1. Choix de la lampe : spectre d'émission et étude énergétique

Document 3. Spectres d'émission de quelques lampes

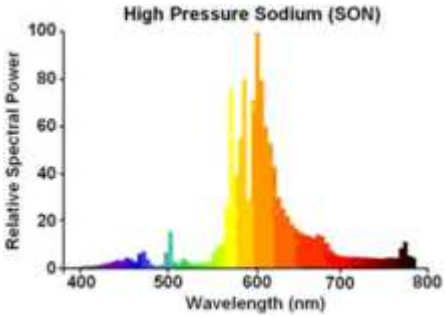
Lampe à incandescence



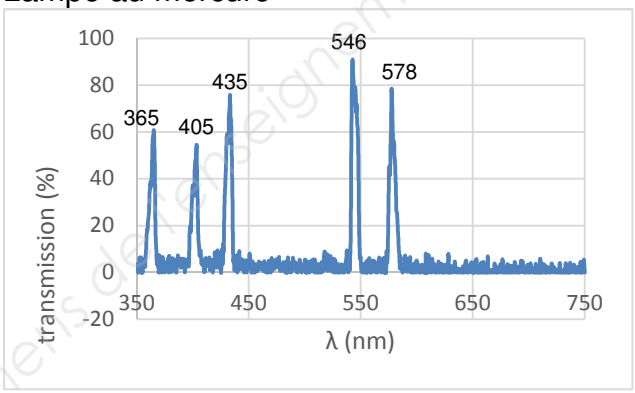
Lampe au sodium basse pression



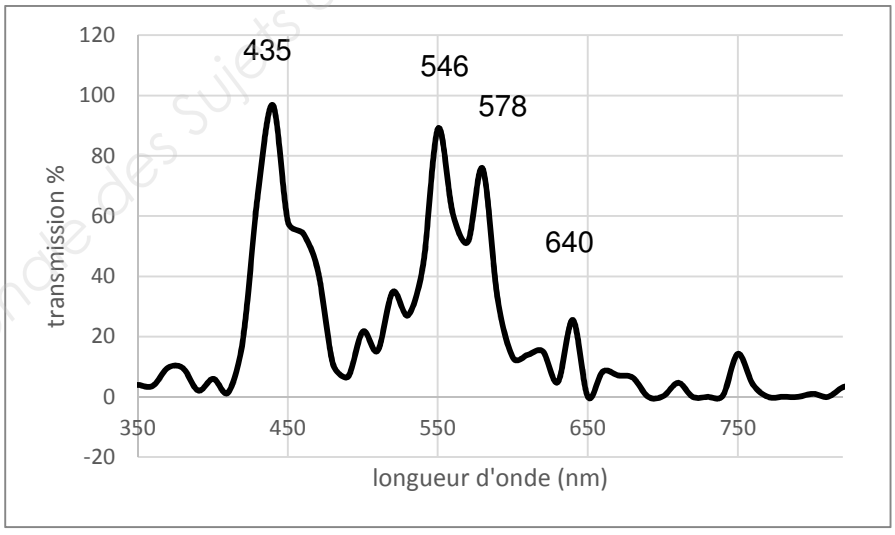
Lampe au sodium haute pression



Lampe au mercure

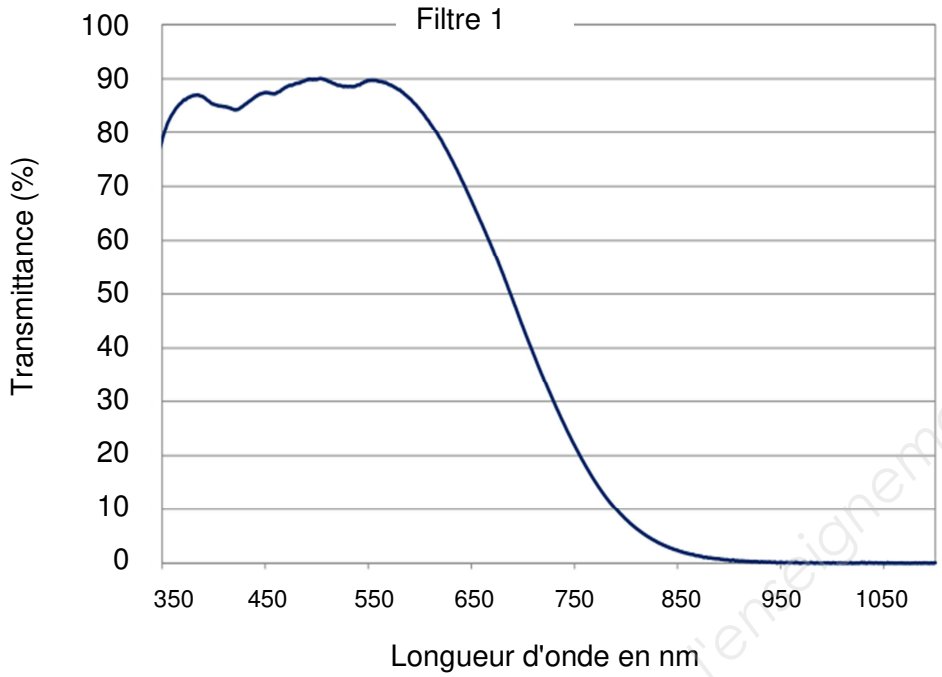


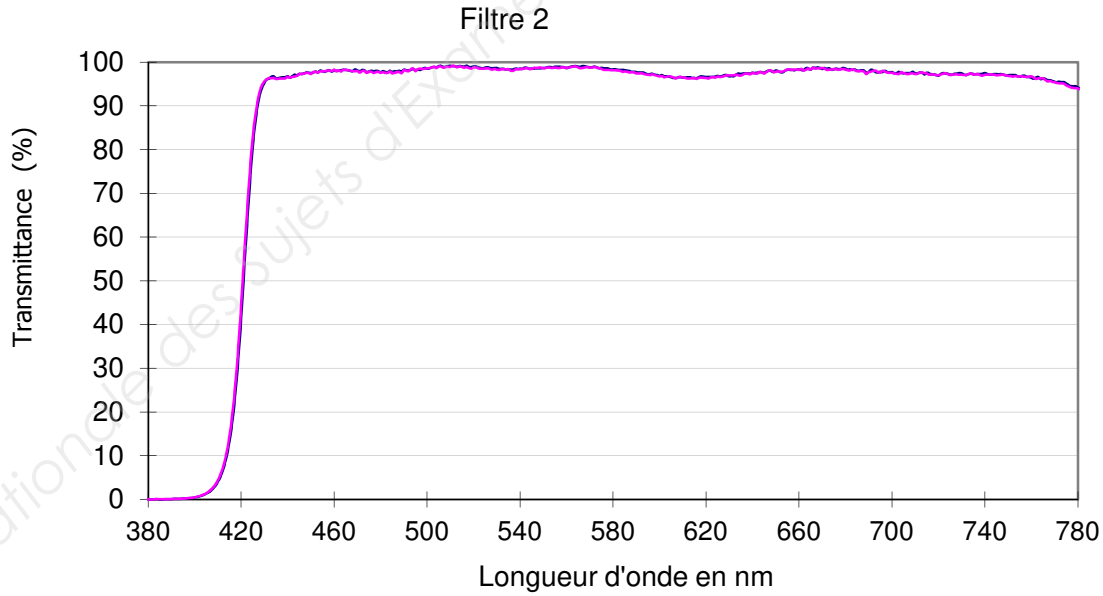
Lampe aux halogénures métalliques UHP



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXE 2. Caractéristiques de filtres (partie 2)



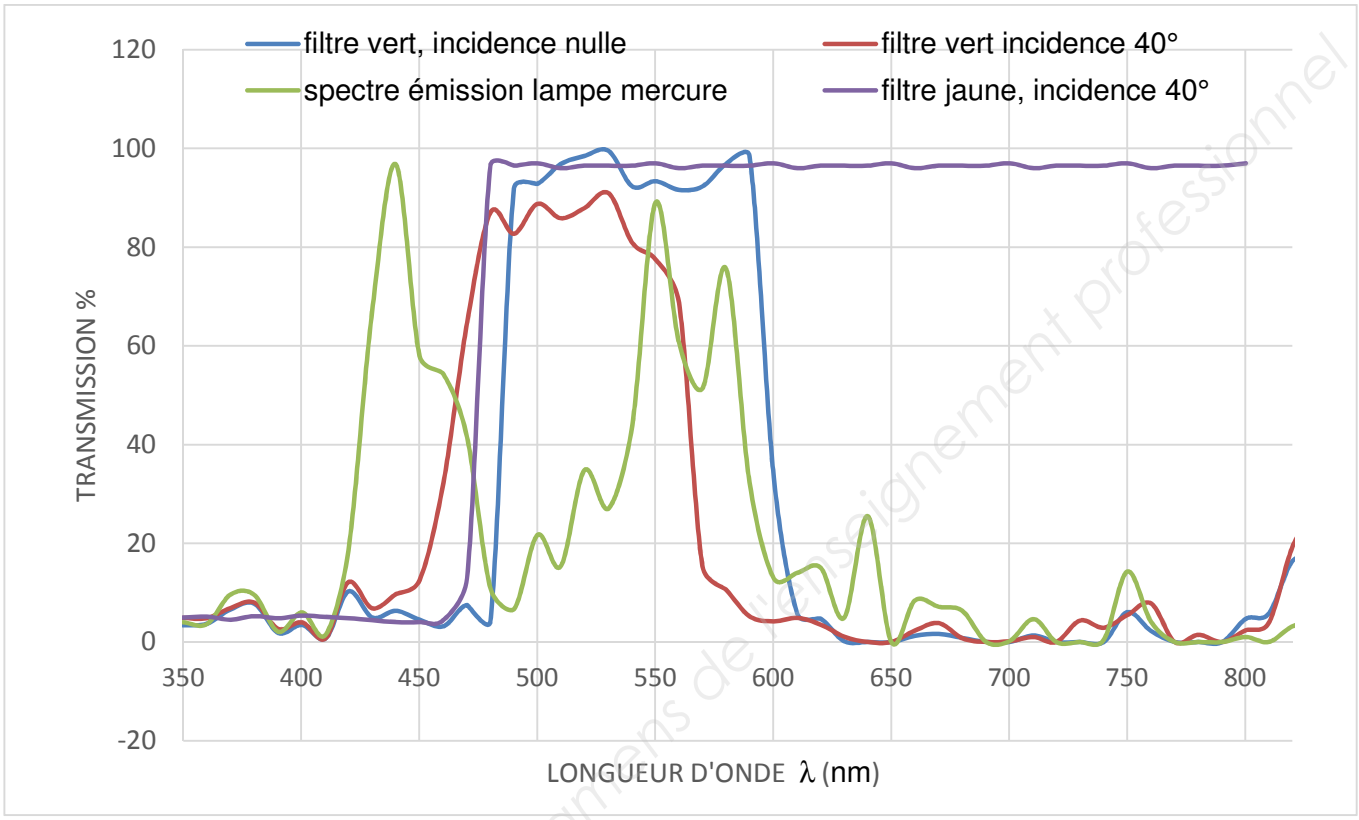


Base Nationale des sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXE 3. Etude des filtres de la roue colorée (partie 2)

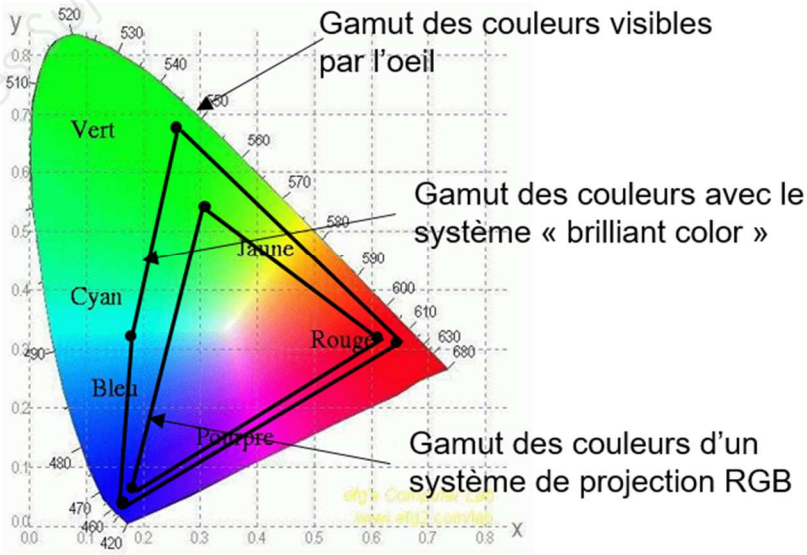
Graphique 1. Spectres :

- d'émission de la lampe à mercure UHP;
- de transmission du filtre vert en incidence normale et sous l'incidence de 40°;
- de transmission du filtre jaune sous l'incidence de 40°.



Graphique 2 : gamuts de l'œil, des couleurs R,G,B et de la roue « brilliant color »

Aucune lecture de valeurs numériques sur les axes n'est demandée.



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

ANNEXE 4. Mesure par diffraction de la dimension d'un micro-miroir (partie 3)

Données

- Source de lumière : un laser He-Ne de classe II de longueur d'onde λ = 632,8 nm
- Distance matrice-écran : D = 20,9 cm.
- Distance entre 2 points lumineux sur la figure de diffraction : x = 1 cm.
- Relation des réseaux en réflexion sous incidence nulle : sin $\theta = k\frac{\lambda}{a}$
- Distance entre 2 maximas d'interférences : $i = \frac{\lambda D}{a}$

Dispositif expérimental pour la mesure de la longueur des côtés des micro-miroirs

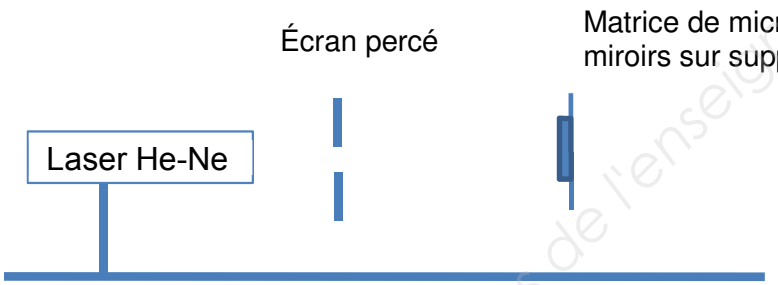
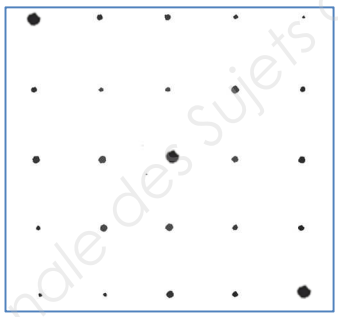
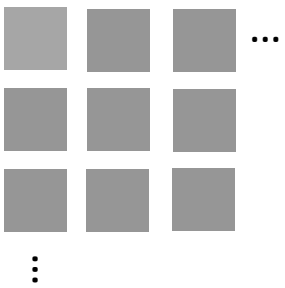


Figure de diffraction obtenue sur l'écran

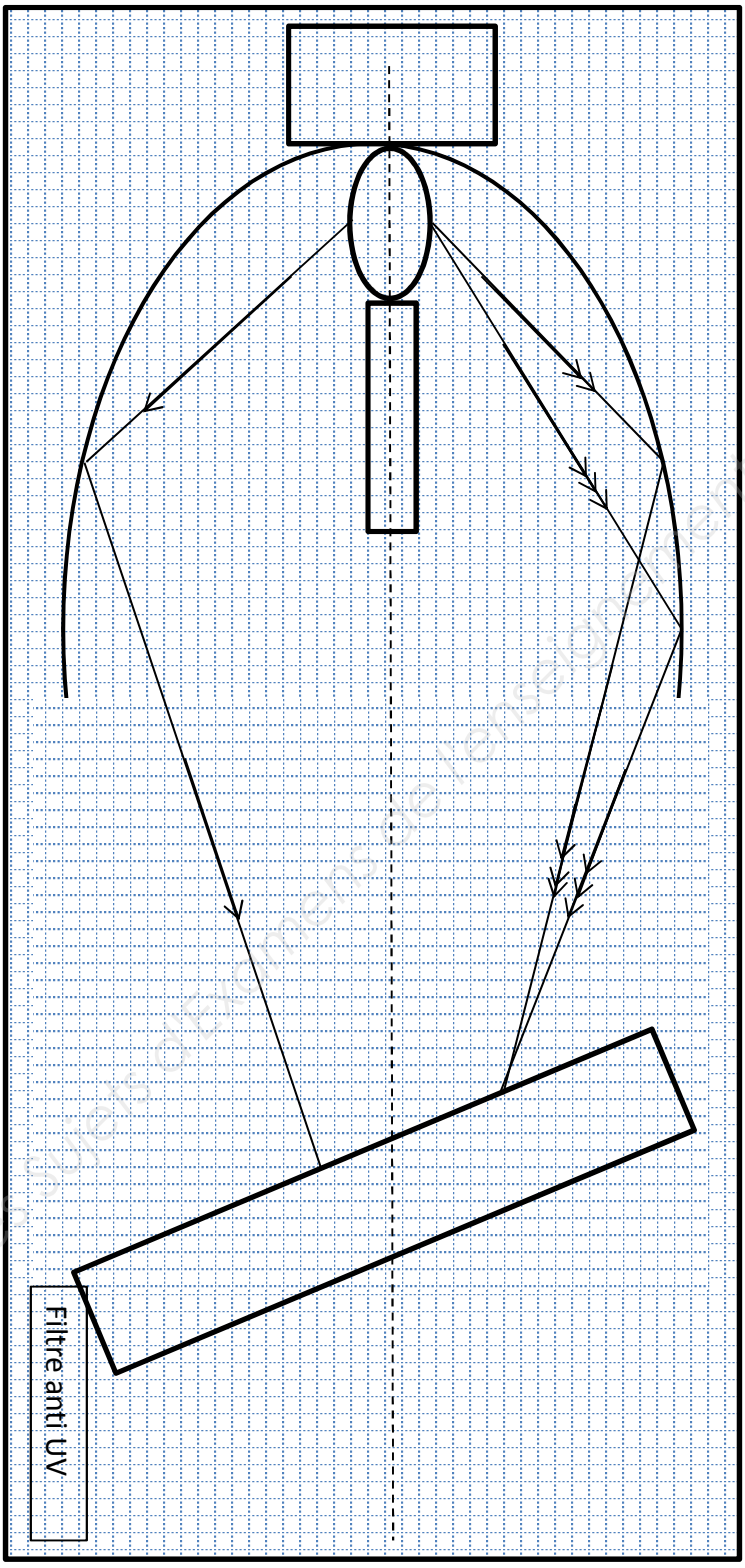


Schématisation de la matrice de micro-miroirs



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR1 A RENDRE AVEC LA COPIE



Base Nationale des sujets de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR2 A RENDRE AVEC LA COPIE

Dispositif expérimental pour la mesure de la longueur des côtés des micro-miroirs

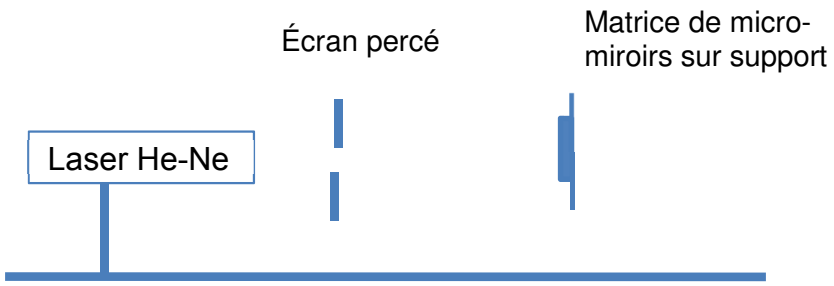
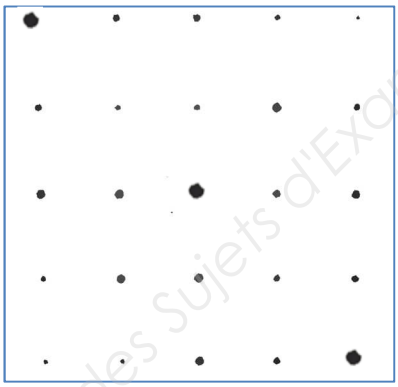
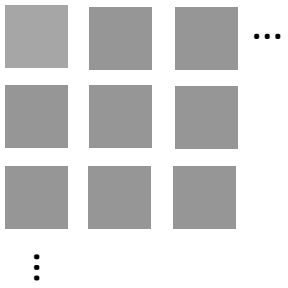


Figure de diffraction obtenue sur l'écran



Schématisation de la matrice de micro-miroirs



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

DOCUMENT RÉPONSE DR3 A RENDRE AVEC LA COPIE



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.

Copyright © 2026 FormaV. Tous droits réservés.

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.