

## Fiche de TD n°3 d'optique photographique

---

### 1. Cadrage

Une caméra, dont le capteur est au format 16/9° et de taille 9,6 x 5.4 mm, est placée dans les tribunes d'un stade de football dans l'axe des buts. La distance entre l'objectif de la caméra et le premier but est de 20 m, les dimensions de la pelouse sont 105 x 68 m et la largeur des buts est de 7,32 m.

- Calculer la distance focale  $f_1'$  de l'objectif de la caméra permettant d'obtenir le plein cadre du premier but dans le plan horizontal.
- Calculer la distance focale  $f_2'$  de l'objectif pour cadrer dans les mêmes conditions le second but.

### 2. La prise de vues

L'objectif d'un appareil de prise de vues (camera) est modélisé par une lentille mince convergente de distance focale  $f' = 38$  mm. Le diaphragme d'ouverture de l'objectif a un diamètre réglable égal à  $2R$ :

$$2R = f' / N$$

où  $N$  peut varier par valeurs discrètes de  $N = 2,0$  à  $N = 11,3$ .

Le capteur d'images possède une structure granulaire: une tache image d'un objet ponctuel a un diamètre d'un grain (taille du pixel)  $a = 30$   $\mu\text{m}$ .

**A)** L'objectif est mis au point sur l'infini et on ouvre le diaphragme au maximum.

*a-* On photographie une tour de hauteur  $h = 100$  m, située à une distance  $D = 1$  km de l'objectif. Calculer la hauteur  $h'$  de l'image obtenue.

*b-* Calculer la distance minimale  $D_m$ , d'un point objet  $A$  à l'objectif qui donne une image aussi nette qu'un point situé à l'infini.

**B)** L'objectif est mis au point sur un objet  $A$  situé à la distance  $p = 2,5$  m de l'objectif.

*a-* Montrer que tout point objet de l'axe aura une image nette si la distance de ce point à l'objectif est comprise entre deux limites  $p_1$  (inférieure) et  $p_2$  (supérieure) qu'on déterminera en fonction de  $a$ ,  $f$ ,  $N$  et  $p$ .

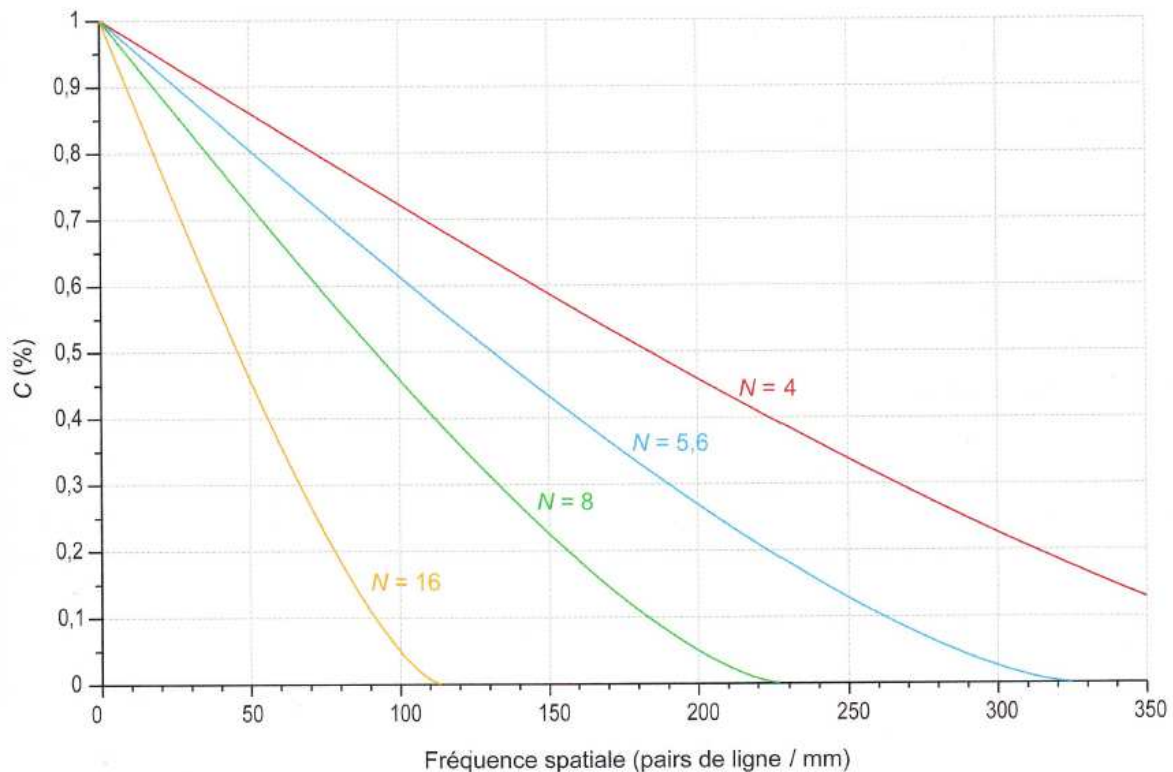
*b-* Calculer les profondeurs de champ de netteté  $X_2$  et  $X_{11,3}$  pour  $N = 2$  et  $11,3$  respectivement. Conclure.

**C)** L'objectif est mis au point sur un sujet situé à 8 m. Ce dernier se déplace perpendiculairement à l'axe, à une vitesse de 9 km/h. Quel temps de pose maximal  $T_{max}$  doit-on choisir pour que le déplacement du sujet photographié n'altère pas la netteté.

### 3. Etudes de la FTM d'un objectif en fonction du capteur

Deux caméscopes mono capteur permettent l'enregistrement d'images en haute définition : 3840 pixels horizontaux et 2160 pixels verticaux (4K). Le caméscope A dispose d'un capteur de dimensions 24,4 x 13,7 mm et le caméscope B dispose d'un capteur dont les dimensions sont 6,4 x 4,8 mm. Pour simplifier l'étude, on considère que la méthode utilisée pour calculer un pixel (débayering) permet d'assimiler le nombre de pixels au nombre de photosites contenus dans chaque capteur. On réalise l'image d'une mire de 1920 barres verticales noires et de 1920 barres verticales blanches sur les différents capteurs.

- Calculer les périodes spatiales  $P_{MA}$  et  $P_{MB}$  en millimètre de la mire projetée sur les capteurs des caméscopes A et B.
- En déduire les fréquences spatiales  $f_{MA}$  et  $f_{MB}$  de la mire sur les capteurs en paire de lignes par millimètre.
- Calculer les périodes spatiales  $P_{PA}$  et  $P_{PB}$  en millimètre de la distribution des photosites sur les capteurs des caméscopes A et B.
- En déduire les fréquences spatiales  $f_{PA}$  et  $f_{PB}$  des photocapteurs en nombre de photosites par millimètre des caméscopes A et B.
- Donner les relations entre  $f_{MA}$  et  $f_{PA}$  et entre  $f_{MB}$  et  $f_{PB}$
- Relever sur les courbes représentant les FTM optimales (courbes ci-dessous), les contrastes maximums  $C_A$  et  $C_B$  qu'il est possible d'obtenir avec une ouverture  $N = 5,6$  pour les deux caméscopes A et B. Interpréter ces relevés.



#### 4. Nombre d'ouverture et profondeur de champ de l'œil

Dans cet exercice, l'œil est modélisé par une lentille convergente de dimension finie (diamètre limité par la pupille) et une surface sensible (rétine constituée de cellules photosensibles) située au foyer image.

**a-** Donner la valeur des nombres d'ouverture de l'œil, sachant que sa focale image  $f'$  est de l'ordre de 20 mm et que le diamètre de la pupille varie entre 2 et 8 mm (respectivement en vision diurne et en vision nocturne).

Comparer ces nombres d'ouverture à ceux d'un appareil photographique standard.

**b-** Un observateur admire un paysage en plein jour. Son œil réalise la mise au point à l'infini. Sachant qu'une cellule photosensible de la rétine mesure  $a = 4 \mu\text{m}$ , calculer la distance minimale  $D_m$  d'un élément du paysage à l'œil de l'observateur qui donne une image aussi nette qu'un élément situé à l'infini (on utilisera notamment pour cela des similitudes dans des triangles). On exprimera le résultat en fonction du nombre d'ouverture  $N$  et de la distance focale  $f'$  de l'œil notamment. Faire l'application numérique avec les données de l'exercice.

#### 5. Téléobjectif

Un téléobjectif est constitué de deux lentilles minces coaxiales, l'une  $L_1$  convergente de distance focale  $f_1' = 10 \text{ cm}$  et l'autre  $L_2$  divergente de distance focale  $f_2' = -4 \text{ cm}$ . Lorsque le téléobjectif est mis au point sur l'infini, son encombrement (distance de la lentille  $L_1$  à la plaque photographique) est  $D = 19 \text{ cm}$ .

1) En résolvant l'équation du second degré que vous aurez obtenue en appliquant la relation de conjugaison à la lentille  $L_2$ , calculer numériquement la distance  $e = O_1O_2$  entre les centres optiques de  $L_1$  et  $L_2$ .

2) En considérant l'image à l'infini, déterminer les positions du foyer objet  $F$  et du foyer image  $F'$  de ce téléobjectif.

3) A l'aide de la formule de Gullstrand, donner la valeur de la distance focale image  $f'$  de ce téléobjectif. En déduire l'avantage du téléobjectif par rapport à un objectif simple de même focale.

4) Calculer la dimension de l'image d'une tour très éloignée et de faible diamètre apparent :  $\alpha = 0,03 \text{ rd}$  (tour de 30 m de haut située à 1 km).

5) Entre  $L_1$  et  $L_2$  est disposé un diaphragme circulaire (diaphragme d'ouverture du téléobjectif), centré en  $C$  sur l'axe ( $O_1C = X = 6,5 \text{ cm}$ ) et de diamètre  $D$  variable. Déterminer les valeurs de  $D$  pour chacune des graduations du diaphragme  $N$  :

$$N = 4 - 5,6 - 8 - 11,3 \text{ et } 16$$

où  $N = f' / D_1$

$N$  est le nombre d'ouverture du téléobjectif, défini par le rapport entre la distance focale image  $f'$  et le diamètre  $D_1$  de la pupille d'entrée du téléobjectif.

## 6. Diaphragme de champ d'une lunette et vignettage

On considère un système centré afocal constitué de deux lentilles minces convergentes  $L_1$  et  $L_2$ , de centres optiques  $O_1$  et  $O_2$  et de distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$ .

On donne:  $f'_1 = 80$  cm et  $f'_2 = 2$  cm. La monture de  $L_1$  est un disque  $M_1$  de rayon  $r_1 = 4$  cm, celle de  $L_2$ , est un disque  $M_2$ , de rayon  $r_2 = 0,5$  cm.

1) Calculer la distance  $d = O_1O_2$  en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$  et identifier la diaphragme d'ouverture, la lunette formant un système afocal.

2) Sur un schéma qui ne sera pas à l'échelle, tracer la marche des rayons extrêmes de faisceaux issus de sources ponctuelles à l'infini dont la direction fait un angle  $\alpha$  avec l'axe optique de la lunette (on constatera qu'il suffit de choisir au préalable un foyer image secondaire de  $L_1$  pour tracer les rayons entre  $L_1$  et  $L_2$ ). Montrer alors :

- la monture de  $L_2$  limite le champ d'observation à travers l'instrument ;

- si on suppose que toutes les sources ponctuelles émettent avec la même intensité lumineuse, l'éclairement à l'observation diminue graduellement depuis une zone de pleine lumière jusqu'à une zone sombre : c'est le phénomène de vignettage.

3) On peut éviter le vignettage en plaçant un diaphragme de taille convenable en un emplacement particulier de l'appareil. Quelle position et quel rayon pour ce diaphragme ?

## 7. Objectif de photocopieur

Le procédé de reprographie s'appuie sur la formation de l'image du document à travers un objectif de reproduction sur une plaque photosensible. La reproduction d'un document A4 peut se faire au même tirage ( $A4 \rightarrow A4$ ), en  $A4 \rightarrow A3$  (la surface du document est doublée) ou encore en tirage  $A4 \rightarrow A5$  (la surface du document est divisée par 2). Ces différents tirages sont obtenus en modifiant la position relative des lentilles à l'intérieur de l'objectif. La distance entre le document et la surface photosensible est  $D = 40$  cm. Une lentille divergente  $L_2$  de distance focale image  $f'_2 = -9$  cm est placée à  $d_2 = 18$  cm de la surface photosensible.

1- Est-ce que la lentille  $L_2$  peut donner une image du document sur la surface photosensible ? Justifier la réponse.

On place une lentille  $L_1$  devant  $L_2$  à  $d = d_2 = 18$  cm du document.

2- Calculer la distance focale image  $f'_1$  de la lentille  $L_1$  pour que l'image du document au travers de l'objectif se forme sur la surface photosensible.

3- Calculer le grandissement  $\gamma$  de l'objectif constitué des deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$ . Quel type de tirage cet objectif permet-il?

En fait, la lentille  $L_1$  est constituée de deux lentilles accolées  $L_{1a}$  et  $L_{1b}$ ,  $L_{1a}$  étant identique à la lentille  $L_2$ .

4- Calculer la distance focale image  $f'_{1b}$  de la lentille  $L_{1b}$ .

5- On déplace la lentille  $L_{1b}$  afin de l'accoler à la lentille  $L_2$ . Montrer que l'image du document se forme encore sur la surface photosensible.

6- calculer le grandissement correspondant à l'association de ces trois lentilles. En déduire le type de tirage obtenu.