

I. La fibre optique à saut d'indice (CCP PC 18)

Une fibre optique à saut d'indice, représentée en **figure 1**, est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'indice $n_c = 1,500$ et de rayon r_c , entouré d'une gaine transparente d'indice $n_g = 1,485$.

L'axe Ox de la fibre est normal au dioptre air-cœur. En raison de la symétrie de révolution de la fibre autour de l'axe Ox , on se restreint à une étude dans le plan (xOy) .

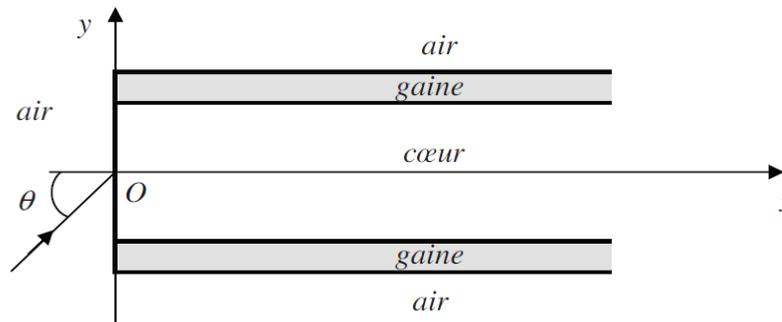


Figure 1 – Fibre optique à saut d'indice

Q1. Un rayon lumineux monochromatique se propageant dans l'air, situé dans le plan (xOy) , pénètre dans le cœur de la fibre en O avec un angle d'incidence θ . Montrer que le rayon reste dans le cœur si l'angle θ est inférieur à un angle limite θ_L , appelé angle d'acceptance de la fibre optique, dont vous donnerez l'expression en fonction de n_c , n_a et n_g . Calculer la valeur de θ_L . L'indice de l'air vaut $n_a = 1,000$.

On considère maintenant une fibre optique de longueur L . Le rayon entre dans la fibre avec un angle d'incidence θ variable compris entre 0 et θ_L .

Q2. Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Exprimer, en fonction de L , c et n_c , la durée de parcours T_1 de ce rayon.

Q3. Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Exprimer, en fonction de L , c , n_g et n_c , la durée de parcours T_2 de ce rayon.

Q4. En déduire l'expression de l'intervalle de temps $\delta T = T_2 - T_1$ en fonction de L , c , n_g et n_c .

On posera $2 \cdot \Delta = 1 - \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2$ avec $\Delta \ll 1$. Dans ces conditions, exprimer δT en fonction de

L , c , n_c et Δ . Calculer la valeur de δT pour $L = 10$ km. On donne $c = 3,0 \cdot 10^8$ m·s⁻¹.

On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée τ_e , représentée en **figure 2**, formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_L .

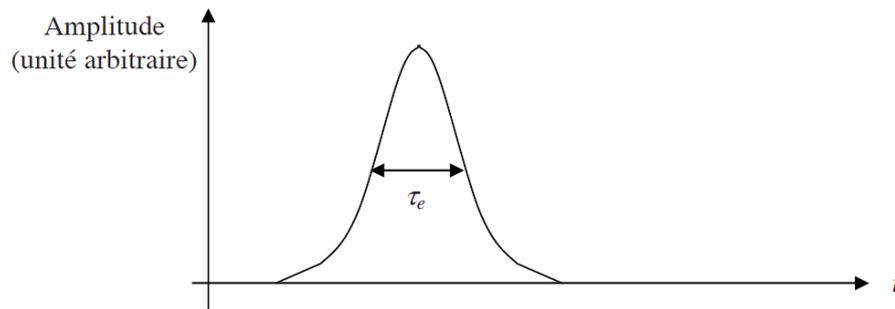


Figure 2 – Impulsion lumineuse en entrée de fibre optique

- Q5.** Reproduire la **figure 2**. Représenter l'allure de l'impulsion en sortie de fibre. Préciser sa durée approximative τ_s . On négligera ici tout phénomène d'absorption de la lumière par la fibre.
- Q6.** Le codage binaire de l'information consiste à envoyer des impulsions lumineuses, appelées bits, périodiquement avec une fréquence f . En supposant τ_e négligeable devant δT , quelle est la fréquence maximale de transmission f_{max} qui empêche le recouvrement des impulsions à la sortie de la fibre ?

II. Lunette de Galilée (CCP TSI 23)

On s'intéresse à un doublet afocal (lunette de Galilée renversée) qui élargit un faisceau laser.

La lunette de Galilée renversée est modélisée par une lentille divergente L1 de distance focale $f'_1 = -20$ mm suivie d'une lentille convergente L2 de distance focale $f'_2 = 100$ mm. Ces deux lentilles constituent le premier doublet afocal : le foyer image de la première lentille coïncide avec le foyer objet de la seconde.

Les lentilles ne limitent pas l'étendue du faisceau. On suppose que le faisceau lumineux incident modélisant le faisceau laser est cylindrique et avec un diamètre de 3,0 mm.

Q1. Le système est utilisé dans les conditions de l'approximation de Gauss, ce qui permet un stigmatisme approché. Énoncer ces conditions et définir la notion de stigmatisme.

Q2. Schématiser le modèle optique proposé pour la lunette de Galilée renversée en illustrant la marche du faisceau cylindrique incident (rayons parallèles à l'axe optique) à travers le système des deux lentilles L1 et L2. On prendra soin d'indiquer la position des foyers utiles de chacune des lentilles, ainsi que les centres de celles-ci. On choisira librement une échelle adaptée.

Q3. Dans cette configuration, calculer le diamètre du faisceau à la sortie de la lunette de Galilée renversée.

III. Couleur des perruches (CCP TPC 23)

À l'origine, la couleur des perruches à l'état sauvage est verte, mais la captivité chez cet oiseau, souvent élevé en nombre, a permis l'émergence de nouvelles couleurs, comme le bleu . C'est notamment l'appauvrissement en pigments jaunes dans son plumage qui est indirectement responsable de cette coloration si particulière et rare dans le domaine animal.

Afin de déterminer l'origine physique de cette couleur bleue, on observe une partie AB d'une plume de perruche à l'aide d'un microscope optique.

Pour cela, on dispose :

- d'une première lentille, L_1 (centre O_1 , distance focale $f_1' = 1,2 \text{ cm}$), qui porte le nom d'objectif ;
- d'une deuxième lentille, L_2 (centre O_2 , distance focale $f_2' = 2,0 \text{ cm}$), qui porte le nom d'oculaire.

La distance qui sépare le foyer image F_1' de l'objectif et le foyer objet F_2 de l'oculaire est appelée intervalle optique, noté Δ , avec ici $\Delta = 16 \text{ cm}$ (**figure 2**).

L'observation se fait à l'aide d'un œil emmétrope (œil à vision normale) situé derrière l'oculaire.

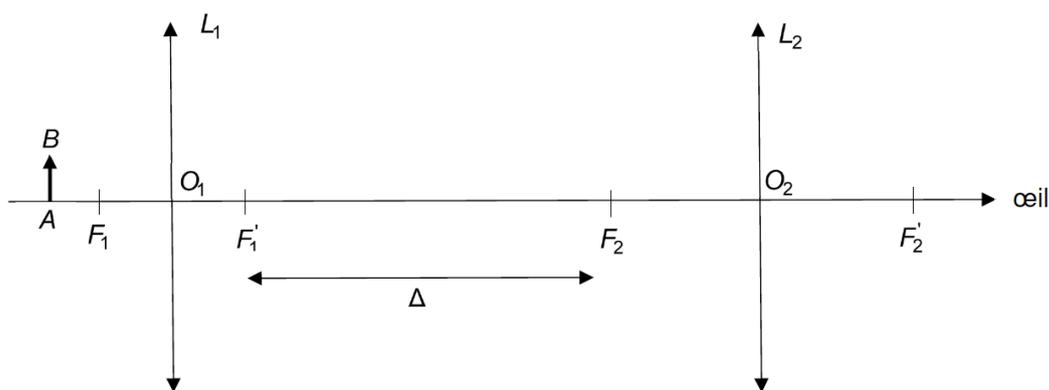


Figure 2 - Schéma du microscope

On se placera pour toute la suite dans les conditions de Gauss et dans l'approximation des petits angles. On note h la taille de l'objet AB observé.

- Q1.** Afin que l'observation puisse s'effectuer sans fatigue visuelle pour l'œil emmétrope, où doit être située l'image finale A_2 en sortie de L_2 ? Dans quel plan se situe donc l'image intermédiaire A_1B_1 ?
- Q2.** Reproduire sur la copie le schéma du microscope et tracer le chemin de deux rayons lumineux passant par l'extrémité B de l'objet, l'un parallèle à l'axe et l'autre passant par O_1 . Faire apparaître sur ce schéma :
- l'image intermédiaire A_1B_1 ;
 - le diamètre angulaire α' de l'image finale vue par l'œil.

- Q3.** Montrer que la grandeur $\gamma_1 = \frac{A_1B_1}{AB}$, appelée grandissement transversal de l'objectif, s'écrit :

$$\gamma_1 = -\frac{\Delta}{f_1'}$$

- Q4.** En déduire l'expression du diamètre angulaire α' de l'image vue par l'observateur au travers du microscope en fonction de f_1' , f_2' , h et de Δ .

En l'absence de dispositif, l'œil voit net un objet situé à une distance comprise entre d_m et d_M , avec $d_m < d_M$.

Q5. Quels noms donne-t-on aux points objets correspondant à ces distances ? Donner une valeur à d_m et d_M pour un œil emmétrope.

Q6. Déterminer le diamètre angulaire α de l'objet AB vu sans instrument et situé à une distance d_m de l'œil (**figure 3**).

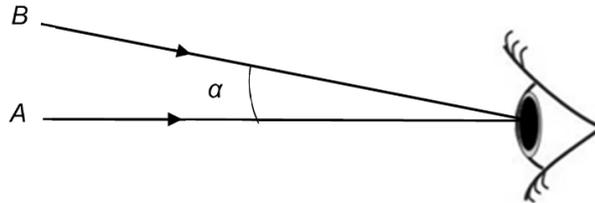


Figure 3 - Diamètre ou distance angulaire

Q7. En déduire que la grandeur $G_C = \frac{\alpha'}{\alpha}$, appelée grossissement commercial du microscope, s'écrit :

$$G_C = \frac{d_m \Delta}{f_1 f_2}.$$

Faire l'application numérique avec $d_m = 25 \text{ cm}$.

Q8. Un œil peut distinguer deux images ou deux objets si la distance angulaire les séparant est supérieure à la limite de résolution angulaire de l'œil $\varepsilon = 1'$ (une minute d'arc). Déterminer quelle sera la distance angulaire minimale α_m entre deux objets vus au travers de ce microscope.