

Optique géométrique

Extrait de l'entête des sujets de la banque PT :

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

CONSIGNES :

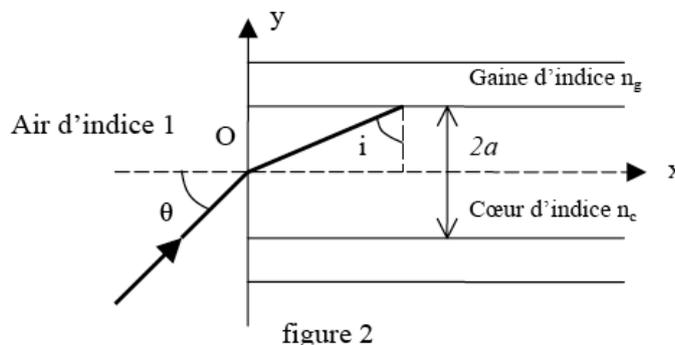
- Composer lisiblement sur les copies avec un stylo à bille à encre foncée : bleue ou noire.
- L'usage de stylo à friction, stylo plume, stylo feutre, liquide de correction et dérouleur de ruban correcteur est interdit.

Problème 1 : Fibre optique (extrait du concours général des lycées)

Une fibre optique à saut d'indice (représentée sur la figure 2) est formée d'un cœur cylindrique en verre d'axe Ox, de diamètre 2a et d'indice n_c , entouré d'une gaine optique d'indice n_g légèrement inférieur à n_c . Un rayon situé dans le plan Oxy entre dans la fibre au point O avec un angle d'incidence θ .

I B 1) A quelle condition sur i , angle d'incidence à l'interface cœur/gaine, le rayon reste-t-il confiné à l'intérieur du cœur ? On note i_L l'angle d'incidence limite. Faire un dessin du trajet ultérieur du rayon en faisant apparaître plusieurs réflexions.

I B 2) Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence θ est inférieur à un angle limite θ_L tel que $\sin \theta_L = n_c \cos i_L$. En déduire l'expression de l'ouverture numérique ON de la fibre, définie par $ON = \sin \theta_L$, en fonction de n_c et n_g uniquement.



I B 3) Donner la valeur numérique de ON pour $n_c = 1,500$ et $n_g = 1,470$.

I B 4) Exprimer la vitesse de propagation de la lumière dans le cœur de la fibre en fonction de la vitesse de la lumière dans le vide, notée c, et l'indice n_c du cœur.

On considère 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 .

I B 5) Quel est le rayon qui traverse le plus rapidement la fibre ? Calculer la durée de parcours τ_1 de ce rayon.

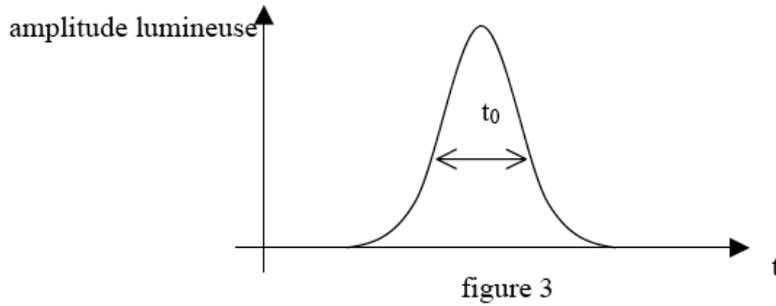
I B 6) Quel est le rayon qui met le plus de temps à traverser la fibre ? Calculer la durée de parcours τ_2 de ce rayon en fonction de L, c, n_c et $\sin i_L$.

I B 7) En déduire l'intervalle de temps $\delta\tau$ entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction de L, c, n_c et n_g .

I B 8) On pose $2\Delta = 1 - \frac{n_g^2}{n_c^2}$. Montrer que si $\Delta \ll 1$ (ce qui est le cas pour les fibres optiques),

$$\delta\tau \approx \frac{L}{c} n_c \Delta.$$

On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse de durée t_0 formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_L . La figure 3 représente l'allure du signal lumineux en fonction du temps.



I B 9) Reproduire la figure en ajoutant à la suite l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre. Quelle durée a approximativement l'impulsion lumineuse en sortie de fibre ?

Le codage binaire de l'information (détaillé dans la section suivante) consiste à envoyer des impulsions lumineuses (appelées « bits ») périodiquement avec une fréquence d'émission F .

I B 10) En supposant t_0 négligeable devant $\delta\tau$, quelle condition portant sur la fréquence d'émission F exprime le non-recouvrement des impulsions à la sortie de la fibre optique ?

Soit L_{\max} la longueur maximale de la fibre optique permettant d'éviter le phénomène de recouvrement des impulsions. On appelle bande passante de la fibre le produit $B = L_{\max} \cdot F$.

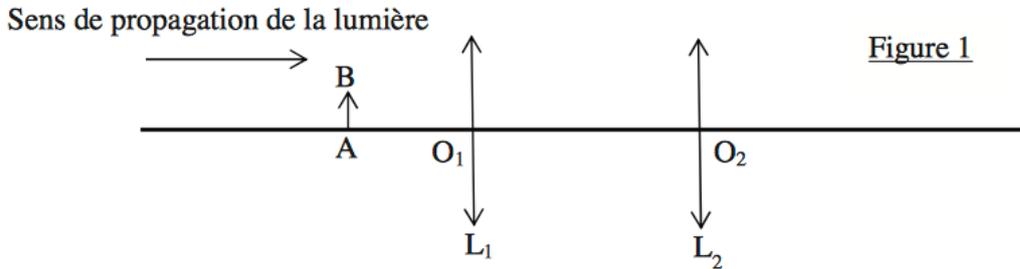
I B 11) Exprimer la bande passante B en fonction de c , n_c et Δ et expliquer l'intérêt de cette grandeur.

I B 12) Calculer la valeur numérique de Δ et de la bande passante B (exprimée en MHz.km) pour $n_c = 1,500$ et $n_g = 1,470$. Pour un débit d'information de $F = 100 \text{ Mbits/s} = 100 \text{ MHz}$ pour le format RZ (cf. section suivante), quelle longueur maximale de fibre optique peut-on utiliser pour transmettre le signal ?

Problème 2 : Le microscope optique (extrait Epreuve A Banque PT)

Le microscope est modélisé sur la figure 1, par un système de deux lentilles minces convergentes, l'une constituant l'objectif (lentille L_1 de centre O_1 et de distance focale image $f'_1=5$ mm), et l'autre constituant l'oculaire (lentille L_2 de centre O_2 et de distance focale image $f'_2= 15$ mm).

On fixe $\overline{O_1O_2} = D_0 = 120$ mm . On choisit le sens positif dans le sens de propagation de la lumière.



On rappelle la relation de conjugaison d'une lentille et l'expression du grandissement γ :

$$\frac{1}{\overline{OA'}} - \frac{1}{\overline{OA}} = \frac{1}{f'} \quad \text{et} \quad \gamma = \frac{\overline{OA'}}{\overline{OA}}$$

A.1.1 Les relations précédentes sont valables à condition que les rayons lumineux satisfassent les conditions de Gauss. Donner ces 2 conditions.

A.1.2 Si F'_1 est le foyer image de L_1 et F_2 le foyer objet de L_2 , on définit l'intervalle optique par la grandeur algébrique $\Delta = \overline{F'_1F_2}$. Exprimer Δ en fonction de f'_1 , f'_2 , D_0 , puis calculer sa valeur.

A.1.3 Un objet réel AB perpendiculaire à l'axe optique est éclairé et placé à une distance d de L_1 , à sa gauche, de façon à ce que l'image A'B' donnée par l'objectif, appelée image intermédiaire se trouve dans le plan focal objet de l'oculaire. L'observation se fait à l'œil placé au contact de l'oculaire.

A.1.3.1 Exprimer d en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.

A.1.3.2 Exprimer le grandissement γ_1 induit par l'objectif en fonction de f'_1 et Δ , puis calculer sa valeur.

A.1.3.3 Quel est l'intérêt pour l'observateur de cette position de l'objet ?

A.1.3.4 Faire une construction géométrique faisant apparaître l'objet, l'image intermédiaire, ainsi que l'angle α' sous lequel est observée l'image finale à travers le microscope.

A.1.4 Le grossissement commercial du microscope est défini par $G = \left| \frac{\alpha'}{\alpha} \right|$ où α est l'angle sous lequel serait vu l'objet à l'œil nu placé à une distance $D = 250$ mm.

L'objet étant de très petite taille, ces deux angles seront bien sûr très faibles.

Exprimer G en fonction de Δ , D , f'_1 et f'_2 , puis calculer sa valeur.