

supérieure à f'_0 . L'image finale ponctuelle A' se trouve sur un écran (E) situé au foyer image F'_0 de (L_0) .

2ème étape : la lentille divergente (L_2) , de distance focale f'_2 inconnue, est positionnée dans le plan focal objet de (L_0) . Pour obtenir la nouvelle image nette A', il faut éloigner (E), de (L_0) , d'une distance D.

1.2.3.1. En appliquant la relation de conjugaison de Newton à la lentille (L_0) , déterminer la relation donnant l'expression de la distance focale f'_2 en fonction des distances f'_0 et D.

1.2.3.2. Pour les distances $f'_0 = 12,5$ cm et $D = 6,5$ cm, calculer f'_2 .

Problème 2 : Fibre optique (Extrait du concours E4A 2000)

1.B Fibre optique à saut d'indice

Soit une fibre optique F constituée d'un cœur cylindrique de rayon a et d'indice n_1 , entouré d'une gaine d'indice n_2 intérieur à n_1 et de rayon extérieur b. Les faces d'entrée et de sortie sont perpendiculaires au cylindre d'axe Oz formé par la fibre. L'ensemble, en particulier la face d'entrée, est en contact avec un milieu d'indice n_0 et pour les applications numériques on supposera que ce milieu est de l'air pour lequel $n_0 = 1$.

1.B.1 « Zigzag » plan
Un rayon lumineux SI arrive en un point I sur la face d'entrée de la fibre. A quelle(s) condition(s) d'incidence ce rayon a-t-il, dans la fibre, un trajet plan ?

On considère un rayon SI incident sur le cœur et contenu dans le plan Oxz (Figure 1). On appelle i l'angle d'incidence et θ l'angle de la refraction sur la face d'entrée de la fibre.

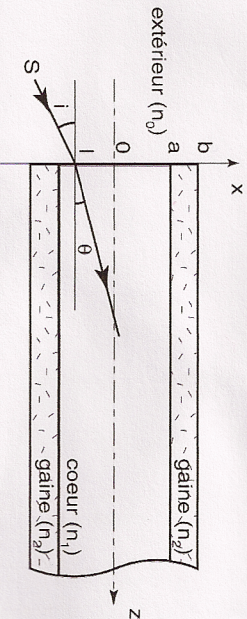


Figure 1

1.B.2 Déterminer en fonction de n_0 , n_1 et n_2 la condition que doit satisfaire i pour que le rayon réfracté ait une propagation guidée dans le cœur. La valeur maximale de i est alors désignée par i_a (angle d'acceptance de la fibre).

1.B.3 On appelle ouverture numérique (O.N.) du guide la quantité $O.N. = n_0 \sin i_a$. Exprimer O.N. en fonction de n_1 et n_2 .

1.B.4 Calculer i_a et O.N. pour une fibre d'indices $n_1 = 1,456$ (silice) et $n_2 = 1,410$ (silicone). Quelle serait la valeur de ces grandeurs pour un guide à base d'arsénure de gallium pour lequel $n_1 = 3,9$ et $n_2 = 3,0$? Commentaires.

L'atténuation de la lumière dans les fibres optiques est due à l'absorption et à la diffusion par le matériau constituant du cœur et par ses impuretés (Fe^{2+} , Cu^{2+} , OH $^-$). Elle se mesure en décibels par km :

$$A_{\text{opt}} = 10 \log_{10} \left| \frac{\Phi_1}{\Phi_2} \right|$$

où Φ_1 et Φ_2 désignent les flux lumineux dans les plans de front successifs 1 et 2 distants de l .

1.B.5 On parvient couramment à réaliser des fibres dans lesquelles le flux, après un parcours de 50 km, représente 10 % du flux incident. Calculer l'atténuation de telles fibres.

1.C Applications

1.C.1 Endoscope à fibres, fibroscope

Le but d'un endoscope est de permettre à un observateur de « voir » dans des endroits inaccessibles, d'intérêts divers (médical, militaire, industriel, etc.). L'endoscope à fibres est constitué de deux faisceaux de fibres : l'un éclaire le site, l'autre assure le retour vers l'extérieur de la lumière émise par la cible éclairée. Le nombre de fibres constituant chaque faisceau est de l'ordre de 10^4 à 10^6 .

Si l'on imagine la cible divisée en environ 10^5 petits carrés, chaque fibre au voisinage de la cible recueillant la lumière de l'un d'eux, quel est le problème posé à l'autre extrémité par la reconstitution de l'image ?

Quel est le problème technologique majeur posé alors par la fabrication du faisceau de fibres ?

1.C.2 Transmission optique par fibre

Deux grands problèmes se posent lorsque l'on veut transmettre des signaux lumineux dans les fibres : l'atténuation (cf. 1.B.5) de l'impulsion qui se propage et son élargissement temporel.

On considère la fibre étudiée en 1.B et on suppose que la lumière incidente qui véhicule le signal définit un cône convergent de sommet O et de demi-angle i_a .

1.C.2.a Calculer la différence δr_{max} des durées extrêmes de propagation dans le cœur en fonction de la longueur L de la fibre, des indices n_1 et n_2 et de c (vitesse de la lumière dans le vide).

1.C.2.b Calculer la différence δr_{max} pour $L = 1$ km, $n_1 = 1,456$ et $n_2 = 1,410$. On prendra $c = 3 \cdot 10^8$ m.s $^{-1}$.

On envoie à l'entrée de la fibre des impulsions lumineuses très brèves avec une période T (figure 2) :

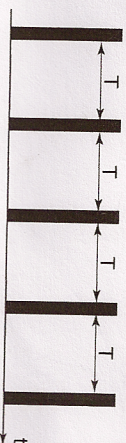


Figure 2

1.C.3 Quelle est la valeur minimale de T pour que les impulsions soient séparées à la sortie ? Comment définissez-vous une bande passante associée ?

En transmission numérique, on exprime le résultat en nombre maximum d'éléments binaires (présence ou absence d'impulsion : bit) qu'on peut transmettre par seconde. Que vaut le débit en b/s (bits par seconde) de cette fibre ? Le comparer au standard téléphone Numéris (64 kb/s) et au standard télévision (100 Mb/s).