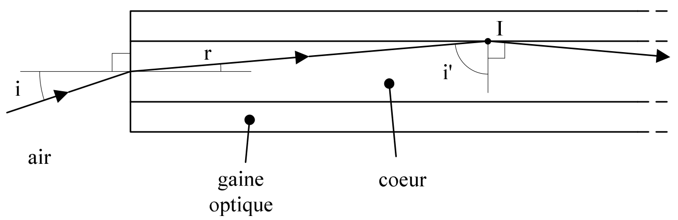
Optique

Exercice G1-05 : fibre optique à saut d'indice

Une fibre optique à saut d'indice est constituée d'un cœur cylindrique entouré d'une gaine :



1. Le cœur a un indice de réfraction n_C = 1,48.
Calculer la vitesse de la lumière dans le cœur.

2. Pour que la lumière puisse se propager correctement dans la fibre optique, il faut avoir réflexion totale en I. Pourquoi ?
A quelle condition sur l'angle i' a-t-on réflexion totale en I ?
En déduire la condition sur r.
En déduire la condition sur l'angle d'incidence i.

On donne : indice de la gaine : n_g = 1,46.

3. On appelle ***ouverture numérique ON*** de la fibre, le sinus de l'angle d'incidence maximal pour lequel les rayons qui pénètrent dans le coeur sont transmis jusqu'à la sortie.
Calculer la valeur de ON.

4. Montrer que l'ouverture numérique peut aussi s'écrire :

$$ON = \sin i_{max} = \sqrt{n_C{}^2 - n_g{}^2}$$

5. La fibre a une longueur totale L = 1 km.

5.1. Considérons un rayon incident qui entre dans la fibre en incidence normale (i = 0).
Calculer la durée du trajet de la lumière jusqu'à la sortie.
5.2. Même question avec l'angle d'incidence i_{max}.
5.3. Vérifier que la différence entre les deux durées précédentes peut s'écrire :

$$\Delta t = \frac{n_C(n_C - n_g)}{n_g}\frac{L}{c_0}$$

avec : $c_0 \approx$ 300 000 km/s (vitesse de la lumière dans le vide)
Faire l'application numérique.

5.4. Application à la transmission d'information

En entrée de la fibre, on place une diode Laser qui émet des impulsions lumineuses.
Ces impulsions correspondent au codage binaire d'une information numérique.

Quelle durée τ doit séparer deux impulsions successives pour qu'elles ne se superposent pas à la sortie de la fibre ?
En déduire le débit maximal (en bits par seconde) de cette fibre optique.

Eléments de correction

1. $c_0/n_C \approx$ 300 000/1,48 ≈ 203 000 km/s

2. C'est nécessaire pour qu'il n'y ait pas de perte énergétique du faisceau lumineux.

$i' > i'_C$ (angle critique) avec : $\sin i'_C = n_g/n_C$
A.N. i' > 80,6°

i' + r = 90° donc : r < 9,4°

Loi de la réfraction : $\sin i = n_C \sin r$ donc : i < 14,0°

3. $ON = \sin i_{max} = \sin 14{,}0° = 0{,}24$

4. $\sin i = n_C \sin r = n_C \sin(90° - i') = n_C \cos i'$

si : $i = i_{max}$ alors : $i' = i'_C$ $ON = \sin i_{max} = n_C \cos i'_C$

$\sin i'_C = \frac{n_g}{n_c}$ $(\sin i'_C)^2 + (\cos i'_C)^2 = 1$ d'où : $\left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2 + \left(\frac{ON}{n_c}\right)^2 = 1$

Finalement : $ON = \sqrt{n_c{}^2 - n_g{}^2}$

5.1. Distance parcourue par la lumière : L
Vitesse de la lumière : c_0/n_C
Durée : $t_1 = \frac{n_C L}{c_0} = 4{,}93\,\mu s$

5.2. Distance parcourue par la lumière : $L / \sin i'_C$
$t_2 = \frac{n_C L}{c_0 \sin i'_C} = \frac{n_C{}^2 L}{c_0 n_g} = 5{,}00\,\mu s$

5.3. $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{n_C(n_C - n_g)}{n_g}\frac{L}{c_0}$
Application numérique : Δt = 68 ns

5.4. τ > Δt

1/Δt = 1/(68 ns) = 14,8 Mbit/s