

V. Étude de la fibre optique à saut d'indice

1) Principe physique de fonctionnement

Les signaux optiques peuvent être utilisés pour transporter une grande quantité d'information sur d'importantes distances. On s'intéresse à la propagation guidée dans une fibre optique et d'un des problèmes qui altèrent la qualité de la transmission et limitent le débit.

Une fibre optique est un fin cylindre de verre, capable de guider la lumière sur de longues distances (cf figure 1).

Un rayon lumineux entrant à une extrémité de la fibre reste piégé à l'intérieur par réflexion totale interne.

Une fibre optique à saut d'indice est constituée d'un cœur cylindrique d'indice n_1 d'un diamètre d'environ $50 \mu\text{m}$ entouré par une gaine d'indice n_2 .

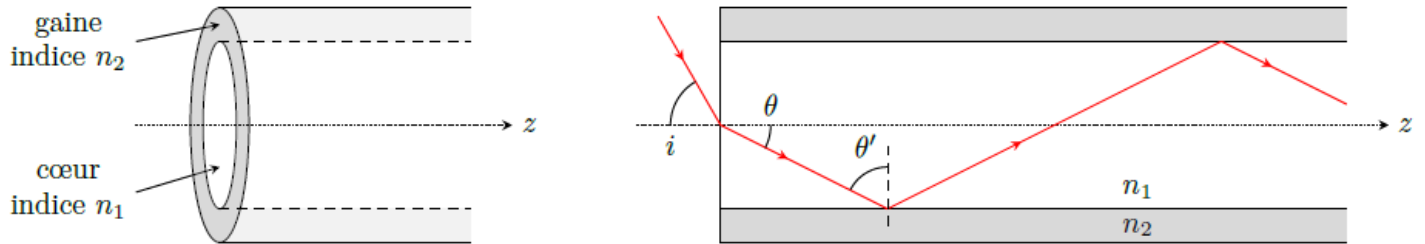


Figure 1 : Schéma d'une fibre optique

1. Lequel des indices du cœur ou de la gaine doit être le plus grand des deux ? Justifier.

2. Montrer que tout rayon lumineux formant dans la fibre un angle θ avec l'axe optique (Oz) peut se propager en restant

confiné dans le cœur si $\theta < \theta_c$ avec $\theta_c = \arccos \frac{n_2}{n_1}$

2) Estimation de l'ouverture numérique

L'ouverture numérique est une caractéristique d'une fibre optique donnant l'inclinaison maximale admissible pour le rayon d'entrée pour qu'il soit guidé dans la fibre. Elle est définie par $ON = \sin i_{max}$ où i est l'angle d'incidence sur la fibre défini sur la figure 1.

3. Montrer que $ON = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$

On pose $n_1 = n_2 + \delta n$ avec $\delta n < n_1$ et $\delta n < n_2$

4. Montrer que $ON \approx \sqrt{(2n_2 \delta n)}$

5. Évaluer numériquement l'ouverture numérique ON pour $n_1 = 1,53$ et $n_2 = 1,50$.

3) Cône d'acceptance de la fibre

6. Faire le schéma du trajet du faisceau de rayons lumineux se propageant dans la fibre sans pertes d'énergie.

Faire apparaître le cône d'angle au sommet $2i_{max}$ que l'on appelle également cône d'acceptance.

4) Effet de la dispersion intermodale sur le débit de la fibre

Une fibre optique est qualifiée de multimode lorsqu'elle transporte la lumière le long de plusieurs rayons.

On raisonne sur deux rayons se propageant dans une fibre optique à saut d'indice de longueur L , l'un sur l'axe de la fibre et

l'autre incliné de $\theta_c = \arccos \frac{n_2}{n_1}$ par rapport à celui-ci.

7. Exprimer la longueur L' parcourue par le rayon non parallèle à l'axe (Oz) en fonction de L , n_1 et n_2 .

8. En déduire la différence de temps de parcours Δt_m entre les deux rayons lumineux en fonction de n_1 , n_2 , L et c .

De cette différence de temps de parcours résulte un étalement temporel du signal : il s'agit de la dispersion intermodale. Une série d'impulsions lumineuses ultra-courtes servant de bits est envoyée dans la fibre. On note T la période de répétition du signal, c'est-à-dire l'intervalle de temps séparant deux impulsions successives

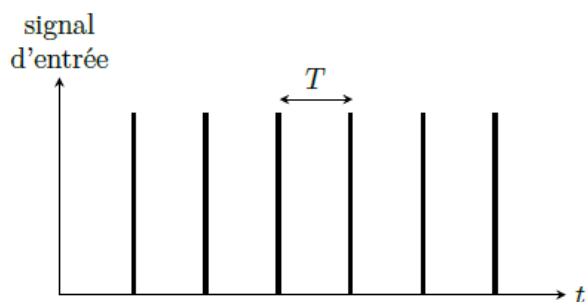


Figure 2 : Signal injecté en entrée de la fibre optique

9. En expliquant clairement le raisonnement, représenter l'allure du signal récupéré à la sortie de la fibre dans le cas où $\Delta t_m < T$ et dans le cas où $\Delta t_m > T$.
10. On note BP_m la bande-passante de la fibre associée à la dispersion intermodale. BP_m représente la fréquence maximale des signaux pouvant transiter dans la fibre. Exprimer BP_m en fonction de n_1 , n_2 , L et c .
11. On considère $n_1 = 1,53$ et $n_2 = 1,50$. Évaluer numériquement BP_m avec un chiffre significatif pour $L = 10$ m et $L = 1$ km. Commenter. Compte tenu des valeurs d'indices, on pourra simplifier l'expression de BP_m pour procéder au calcul numérique.
12. Les fournisseurs d'accès internet proposent des offres « fibre optique » avec des débits allant jusqu'à 1 Gbit/s. Proposer une solution technologique permettant d'atteindre un tel débit.