

Exercice 1 : Excitation d'une fibre à saut d'indice (10 points)

On considère un rayon lumineux se propageant dans une fibre optique multimode à la longueur d'onde $\lambda = 0.85 \mu\text{m}$, le rayon est incident à l'entrée de la fibre avec un angle θ (voir Figure 1). La fibre optique est de longueur L , elle est à saut d'indice. L'indice du cœur vaut $n = 1.50$ et l'indice de la gaine vaut $n_1 = 1.485$. Le diamètre de la fibre est de $D = 2a = 50 \mu\text{m}$.

Q1 — Rappelez ce que signifie « fibre à saut d'indice ». Tracer le profil d'indice de la fibre de diamètre $50 \mu\text{m}$. On supposera que le diamètre de la gaine est de $125 \mu\text{m}$. Pour que la lumière injectée dans la fibre puisse rester confinée dans le cœur (jusqu'à la sortie) quelle relation les indices n et n_1 doivent-ils vérifier ? Pourquoi ?

Q2 — Les différents angles utiles sont représentés sur la figure 1. A quelle condition sur i le rayon reste-t-il à l'intérieur du cœur de la fibre ? On note i_c l'angle d'incidence limite. Donner l'expression de i_c en fonction des indices n et n_1 .

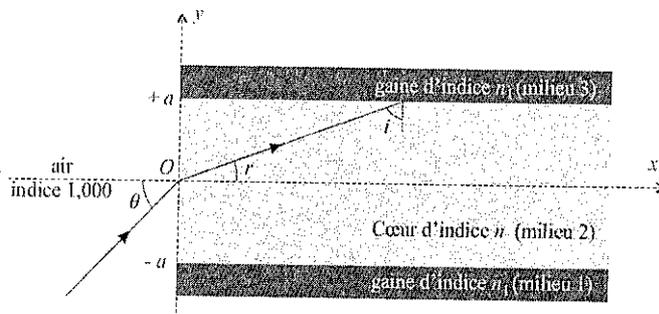


Figure 1 : fibre optique multimode à saut d'indice. Vue en coupe.

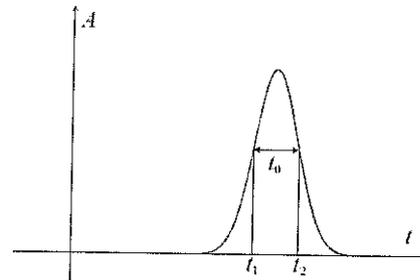


Figure 2 : impulsion optique d'entrée

Q3 — Montrer que la condition précédente est vérifiée si l'angle d'incidence θ (à l'interface air/ cœur) est inférieur à un angle limite θ_c . Exprimer $\sin(\theta_c)$ en fonction de n et i_c . En déduire l'expression de l'ouverture numérique $ON = \sin\theta_c$ de la fibre en fonction de n et n_1 uniquement.

Q4 — Donner la valeur numérique de ON pour $n = 1,50$ et $n_1 = 1,485$. A quel angle limite θ_c cela correspond-il ?

Le faisceau lumineux est maintenant focalisé dans la fibre, il est constitué de rayons dont l'angle d'incidence θ est compris entre 0 et θ_c . On note c la vitesse de la lumière dans le vide.

Q5 — Pour quelle valeur de l'angle θ , le temps de parcours de la lumière dans la fibre est-il minimal ? puis maximal ? A l'aide d'un schéma montrez que l'intervalle de temps entre le temps de parcours minimal et maximal en fonction vaut $\delta t = \frac{n \cdot L}{c} \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right)$.

Q6 — On pose $2\Delta = 1 - \left(\frac{n_1}{n} \right)^2$. Calculer la valeur de Δ pour la fibre ci-dessus.

Q7 — En supposant un écart d'indice faible entre le cœur et la gaine ($n - n_1 \ll 1$), montrez à l'aide d'une identité remarquable que $\Delta \sim \left(\frac{n}{n_1} - 1 \right)$. Réécrivez δt en fonction de L , c , n et Δ .

On injecte à l'entrée de la fibre une impulsion lumineuse d'une durée caractéristique $t_0 = t_2 - t_1$ formée par un faisceau de rayons ayant un angle d'incidence compris entre 0 et θ_c . La figure 2 représente l'allure de l'amplitude A du signal lumineux en fonction du temps t .

Q8 — Reproduire la figure 2 en donnant l'allure du signal lumineux à la sortie de la fibre. Quelle est la durée caractéristique $t_{0, \text{sortie}}$ de l'impulsion lumineuse à la sortie d'une fibre de 1 km ?

Exercice 2 : Réseau optique passif (10 points)

Un opérateur de télécommunication veut connecter 64 abonnés sur un réseau optique passif (PON) en utilisant des coupleurs 1x4 en cascade. Dans le cas du canal descendant, l'information est envoyée par un terminal optique (OLT) vers plusieurs unités optiques du réseau (ONUs, une par abonné).

L'émetteur, se trouvant dans l'OLT, est une diode laser type Fabry Péro à une longueur d'onde de $1,3 \mu\text{m}$ et une largeur spectrale de 5 nm . La puissance laser est de 12 mW et seulement 50% ($\alpha_l=3 \text{ dB}$) de cette puissance est couplée dans la fibre optique.

La fibre optique monomode G.652 employée est de dispersion chromatique $D=3.5 \text{ ps}/(\text{km}\cdot\text{nm})$ à $1.3 \mu\text{m}$ et possède une atténuation linéique égale à $\alpha_{\text{propa}}=2.5 \text{ dB}/\text{km}$.

Il y a un connecteur de perte égale à $\alpha_c=1 \text{ dB}$ entre les différents composants de la liaison optique.

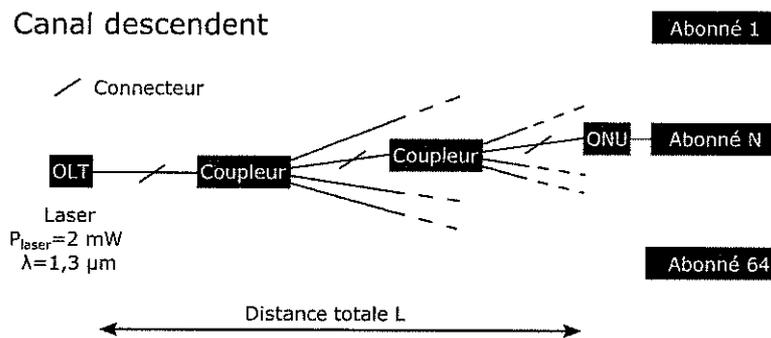


Figure 3 : Schéma simplifié d'un réseau optique passif avec coupleur 1x4 en cascade ;

Le coupleur 1x4 est sans pertes et la puissance d'entrée est répartie également entre les quatre sorties du coupleur. On suppose que les coupleurs 1x4 en cascade sont reliés à travers une fibre optique monomode G652. Le dernier coupleur 1x4 de la liaison est relié à l'unité optique du réseau (ONU) à travers une fibre optique monomode G.652. Chaque ONU convertit le signal optique en signal électrique pour un abonné.

Le récepteur, se trouvant dans l'ONU, est une photodiode PIN caractérisée par une sensibilité égale à $0,5 \text{ A/W}$ et un niveau minimum de détection égal à -60 dBm .

Q9 — Quel est le nombre total de coupleurs 1x4 nécessaire pour cette liaison ?

Q10 — Quel est le nombre total de connecteurs nécessaire pour cette liaison ?

Q11 — Calculer la puissance laser couplée dans la fibre dBm. On la notera $P_{\text{OLT,dBm}}$.

Q12 — Quel est la transmission d'un coupleur $T_{1x4,dB}$ en dB entre de puissance entre l'entrée et l'une des sorties.

Q13 — Écrire l'équation reliant la puissance en sortie de l'OLT ($P_{\text{OLT,dBm}}$) et la puissance détectée à un ONU ($P_{\text{ONU,dBm}}$). Cette équation fera intervenir la longueur totale de fibre L entre l'OLT et l'ONU.

Q14 — Calculer la distance maximale entre l'OLT et l'ONU. Cette distance est-elle suffisante pour un déploiement commerciaux réseaux optiques passifs ?

Q15 — Pour cette distance, calculez l'élargissement temporel dû à la dispersion chromatique. En déduire le débit binaire minimum de ce type de système.

Q15 — Selon vous, quelles sont les avantages et les inconvénients des réseaux optiques passifs ? Quelles améliorations pourriez-vous envisager ?