

EXERCICE RÉSOLU 3

Propagation d'un signal dans une fibre optique

Énoncé

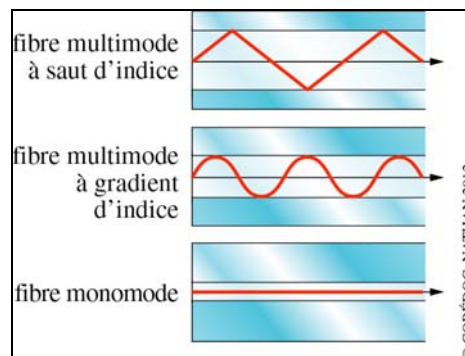
Une fibre optique est constituée d'un cœur et d'une gaine composés de matériaux d'indices de réfraction différents. Un signal lumineux porteur de l'information à transmettre se propage en restant confiné dans le cœur, par réflexion totale, de l'entrée jusqu'à la sortie de la fibre. On considère que ce signal numérique est composé de suites d'impulsions lumineuses très brèves, chaque suite correspondant à un « paquet » de 512 octets. Le récepteur a pour rôle d'affecter périodiquement un « 1 » ou un « 0 » à un état haut ou à un état bas de l'intensité lumineuse reçue.

Les performances d'une transmission par fibre optique sont liées au débit d'information autorisé et sont principalement dues :

- à l'affaiblissement du signal au cours de sa propagation ;
- à la dispersion du signal, conduisant à un étalement temporel des impulsions.

Pour réduire le phénomène de dispersion, on utilise des sources de lumière monochromatiques, mais celui-ci reste toujours présent.

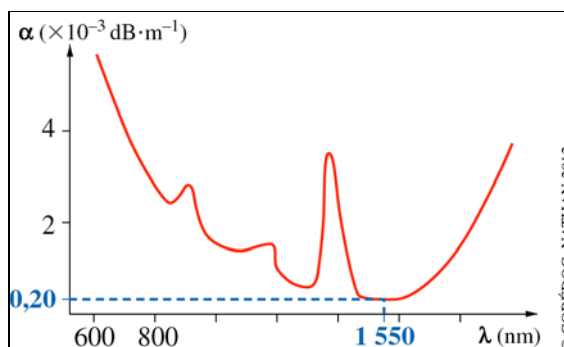
Dans une fibre optique, la lumière peut parcourir différents trajets dans le cœur de la fibre : on parle de « modes » de propagation.



Les différents types de fibre optique.

Les durées de propagation variables entre les différents rayons lumineux émis sont la principale origine du phénomène de dispersion. Les fibres optiques les plus performantes sont les fibres monomodes, qui n'autorisent qu'un seul mode (les trajets suivis par la lumière sont très proches), mais elles sont difficiles à installer du fait d'un cœur de diamètre très petit (une dizaine de micromètres).

On considère, dans la suite de l'exercice, une fibre optique monomode de longueur $L = 10$ km. Les variations de son coefficient d'atténuation avec la longueur d'onde de la lumière transmettant l'information sont représentées ci-contre.



Données

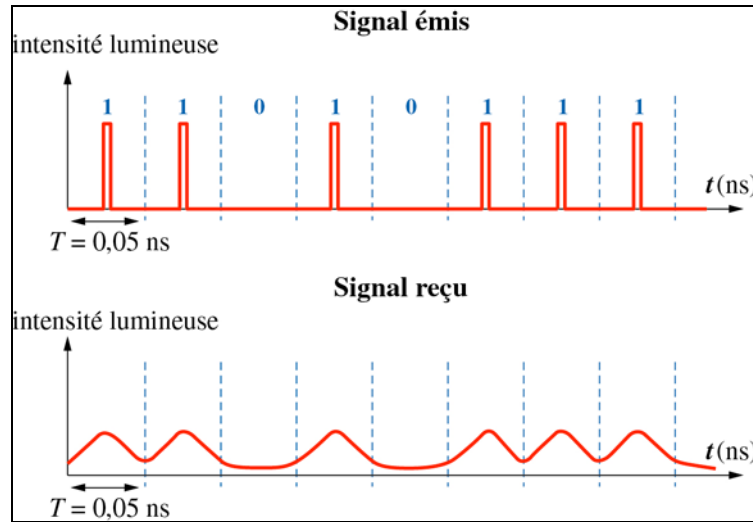
Avec les notations usuelles, le coefficient d'atténuation est donné par :

$$\alpha = \frac{1}{\ell} \times 10 \log \frac{P_E}{P_S}$$

1 octet = 8 bits.

1. L'émetteur utilisé est une diode laser infrarouge de longueur d'onde 1 550 nm. Justifier le fait d'utiliser une source laser et le choix de la longueur d'onde.
2. On admet que le récepteur ne peut exploiter le signal que si au moins 1,0 % de son énergie initiale est reçue. Déterminer la distance maximale L_{\max} d'une transmission utilisant le type de fibre considéré.
3. Le fabricant de la fibre optique annonce un débit possible de 20 Gbit·s⁻¹ pour une propagation sur la longueur $L = 10$ km. Déterminer la durée Δt alors nécessaire au transfert d'un paquet de 512 octets.

4. Les graphiques ci-dessous représentent les allures du signal émis et du signal reçu lors de la transmission par la fibre.
- Montrer que le débit binaire de la transmission de ce signal est bien celui annoncé par le fabricant.
 - Expliquer pourquoi un débit plus important n'est pas envisageable.



Une solution

Connaissances
Il faut mettre en relation les connaissances sur les laser et les indications de l'énoncé.

- L'utilisation d'un laser est justifiée par :
 - la directivité de son faisceau qui permet de concentrer davantage la lumière en entrée de fibre optique ;
 - sa puissance élevée pour que l'affaiblissement au cours de la transmission n'empêche pas de percevoir le signal en sortie de fibre ;
 - sa monochromaticité qui permet de réduire la dispersion du signal.

Le choix de la longueur d'onde du rayonnement est motivé par une atténuation du signal plus faible, puisque, d'après la courbe des variations, le coefficient d'atténuation est le plus bas pour une longueur d'onde égale à 1 550 nm.

- D'après la définition du coefficient d'atténuation :

$$\alpha = \frac{1}{\ell} \times 10 \log \frac{P_E}{P_S}, \text{ donc } \ell = \frac{1}{\alpha} \times 10 \log \frac{P_E}{P_S}.$$

Raisonner
Faire le lien entre le pourcentage indiqué et le rapport des puissances intervenant dans l'expression du coefficient d'atténuation.

L_{\max} s'apparente à ℓ pour une énergie reçue correspondant à 1,0 % de celle émise, soit pour $\frac{P_E}{P_S} = 1,0 \times 10^2$.

A.N : $L_{\max} = \frac{1}{0,20 \times 10^{-3}} \times 10 \log(1,0 \times 10^2) = 1,0 \times 10^5 \text{ m} = \mathbf{1,0 \times 10^2 \text{ km}}$.

- Un paquet de 512 octets est formé de $512 \times 8 = 4\,096$ bits.

Raisonner
Exploiter les données représentées par les graphiques.

La durée de la transmission vaut donc : $\Delta t = \frac{4096}{20 \times 10^9} = 2,0 \times 10^{-7} \text{ s} = \mathbf{0,20 \text{ ms}}$.

- Le débit binaire correspond au nombre de bits transférés en une seconde. Or, un bit est caractérisé ici par la présence ou non d'une impulsion pendant la durée $T = 0,050 \text{ ns}$.

Le débit vaut donc $\frac{1}{T} = \frac{1}{0,050 \times 10^{-9}} = 2,0 \times 10^{10} \text{ bit} \cdot \text{s}^{-1} = \mathbf{20 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}}$.

Raisonner
Interpréter le signal en sortie de fibre à partir des phénomènes de dispersion et d'affaiblissement.

- Un débit plus important nécessite une durée T nécessaire à la description d'un bit plus courte. Or, le phénomène de dispersion, provoquant un étalement des impulsions, a déjà tendance à faire se chevaucher les impulsions en sortie de fibre. Il serait donc hasardeux pour le récepteur d'interpréter le signal car les états haut et bas se distinguent mal, d'autant plus que le phénomène d'affaiblissement est responsable de la baisse des valeurs de l'intensité lumineuse.

Remarque : en pratique, on régénère le signal le long de son parcours afin d'obtenir des débits conséquents sur de très longues distances.