

Ch. 21. Correction. Exercices p : 559 n°31. TRANSMISSION ET STOCKAGE DE L'INFORMATION**BAC. Réussir l'épreuve de sciences physiques.****p : 559 n°31. Chemins optiques de signaux dans une fibre**

Un signal lumineux se propage dans une **fibre multimodale à saut d'indice**. Ce signal, composé de rayons ayant des **angles d'incidences θ_i différents**, se disperse dans la fibre. Du fait des **lois de la réflexion** des rayons sur la gaine, les rayons lumineux d'angles d'incidence différents ne parcourent pas la même distance dans la fibre. Comme la **vitesse de propagation** dans le cœur de la fibre a une valeur constante pour tous les rayons, les **durées de propagation** seront différentes : c'est la **dispersion modale**. La réception du signal s'étale alors dans le temps. Ce phénomène a des conséquences sur le débit des informations, car il peut conduire à la superposition de signaux consécutifs émis trop proches dans le temps.

Données : • Indices de réfraction pour la radiation considérée :

- de la gaine : $n_g = 1,42$; - du cœur : $n_c = 1,43$; - de l'air : $n_{\text{air}} = 1,00$.

• Célérité de la lumière dans la fibre : $v = 2,00 \times 10^5 \text{ km.s}^{-1}$.

• Longueur de la fibre : $L = 100 \text{ km}$; • Diamètre du cœur de la fibre : $h = 200 \mu\text{m}$.

1. Schématiser une fibre optique à saut d'indice et le cheminement de deux rayons ayant des angles d'incidence différents.

2. a. Calculer l'angle d'incidence limite i_{lim} à l'interface séparant le cœur de la gaine pour observer la réflexion totale.

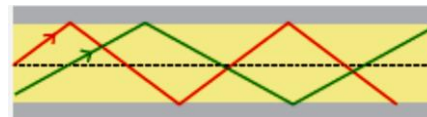
b. En déduire l'angle d'incidence maximal lors de la réfraction entre l'air et le cœur permettant la propagation du rayon dans le cœur de la fibre.

Repérer sur le schéma les points d'incidence A et B de deux réflexions consécutives. Noter la longueur de la fibre entre ces points.

Quelle est la distance d parcourue par un rayon entre ces deux points en fonction de la longueur l et de l'angle i d'incidence?

4. Évaluer un ordre de grandeur du nombre de réflexions totales sur la gaine d'une fibre de 100 km de long si l'angle i est égal à l'angle d'incidence i_{lim} .

5. En déduire le décalage temporel de réception entre un rayon se propageant parallèlement à l'axe de la fibre et un autre se propageant avec l'angle d'incidence i_{lim} .



1. Schéma d'une fibre à saut d'indice :

2. a. Calcul de l'angle d'incidence limite i_{lim} à l'interface séparant le cœur de la gaine pour observer la réflexion totale.

L'incidence limite est atteinte entre le cœur et la gaine lorsque l'angle de réfraction est égal à 90° , soit d'après les lois de

Snell-Descartes : $n_c \cdot \sin i_{\text{lim}} = n_g \cdot \sin 90^\circ = n_g$ donc : $i_{\text{lim}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_g}{n_c}\right)$ On obtient : $i_{\text{lim}} = 83,2^\circ$.

b. En déduire l'angle d'incidence maximal lors de la réfraction entre l'air et le cœur permettant la propagation du rayon dans le cœur de la fibre

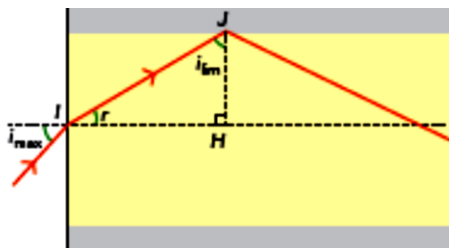
Les angles i_{lim} et r sont complémentaires dans le triangle IJH , rectangle en H .

$$i_{\text{lim}} + r = 90^\circ, \text{ donc } \sin r = \cos i_{\text{lim}}.$$

Lors de la réfraction entre l'air et le cœur de la fibre, la loi de Snell-Descartes sur la réfraction donne :

$$n_{\text{air}} \cdot \sin i_{\text{max}} = n_c \cdot \sin r = n_c \cdot \cos i_{\text{lim}}. \text{ donc : } i_{\text{max}} = \sin^{-1}\left(\frac{n_g}{n_c} \cos i_{\text{lim}}\right) \text{ soit}$$

$$i_{\text{max}} = 9,75^\circ$$



3. Repérer sur le schéma les points d'incidence A et B de 2 réflexions consécutives.

Noter la longueur l de la fibre entre ces points. $\sin i = \frac{l}{d}$ don $d' = \frac{l}{\sin i}$

4. Évaluer un ordre de grandeur du nombre de réflexions totales sur la gaine d'une fibre de 100 km de long si l'angle i est égal à l'angle d'incidence i_{lim} .

On calcule la longueur de la fibre parcourue entre deux réflexions totales lorsque $i = i_{\text{lim}}$.

$$\tan i_{\text{lim}} = \frac{l}{h} \text{ donc } l = h \cdot \tan i_{\text{lim}}. \text{ donc } l = 200 \times 10^{-6} \times \tan(83,2^\circ) = 1,68 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$n \text{ est le nombre de réflexions, donc : } n = \frac{L}{l} \text{ soit } n = \frac{100\,000}{1,68 \times 10^{-3}} = 60 \times 10^6 = 60 \text{ millions environ.}$$

5. En déduire le décalage temporel de réception entre un rayon se propageant parallèlement à l'axe de la fibre et un autre se propageant avec l'angle d'incidence i_{lim} .

Entre deux réflexions consécutives, le chemin parcouru par la lumière est : $d = \frac{l}{\sin i_{\text{max}}} = 1,69 \times 10^{-3} \text{ m.}$

Il y a environ 60 millions de réflexions, donc la distance D parcourue par la lumière dans la fibre est égale à :

$$D = 6 \times 10^7 \times 1,69 \times 10^{-3} = 1,01 \times 10^5 \text{ m} = 101 \text{ km.}$$

Soit t_1 la durée du trajet. Si le rayon est normal : $t_1 = \frac{L}{v}$.

Soit t_2 la durée du trajet. Si le rayon se propage par réflexions totales : $t_2 = \frac{D}{v}$.

Le décalage vaut : $\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{D}{v} - \frac{L}{v} = \frac{D-L}{v} = 6,74 \times 10^{-6} \text{ s}$ soit **$\Delta t = 6,74 \mu\text{s}$** .

