

Autorisés : Une feuille A4 recto-verso manuscrite, et votre calculatrice.

Recommandations importantes :

- Lisez la totalité du sujet avant de commencer (5mn). Faites des réponses courtes, et des phrases compréhensibles.
- Écrivez lisiblement les réponses, organisez clairement votre copie.
- Indiquez les numéros des questions auxquelles vous répondez.

Exercice I Question de cours / TP. (4 points)

Les principales caractéristiques de la fibre que vous avez utilisée en TP sont données ci-dessous.

ouverture numérique	0.47	
indice du coeur	1.6	
diamètre de coeur	1	mm

- I.1 Rappelez le lien qui existe entre l'ouverture numérique (ON) d'une fibre optique et l'angle maximal d'injection (α_{ac}) de la lumière dans la fibre (voir aussi l'exercice III.5). Étant donné l'ouverture numérique de la fibre utilisée ici, calculez l'angle au sommet du cône de lumière émis en bout de fibre.
- I.2 Rappelez ce qu'est la dispersion intermodale dans une fibre optique multimode, quelle est son origine ? Quel est son impact sur la transmission de bits d'information ? Connaissez-vous un autre type de dispersion ?
- I.3 Pour transmettre les données, on utilise un émetteur fonctionnant à la longueur d'onde de 650 nm. Quelle est la valeur du coefficient de pertes à cette longueur d'onde ? A quelle longueur d'onde faudrait-il travailler pour avoir le moins de pertes possibles dans cette fibre ?
- I.4 Citez deux autres types de pertes que vous avez observés en TP et qui engendrent une réduction du signal lumineux reçu par le détecteur en sortie de fibre.

La courbe d'atténuation en fonction de la longueur d'onde donnée ci-dessous :

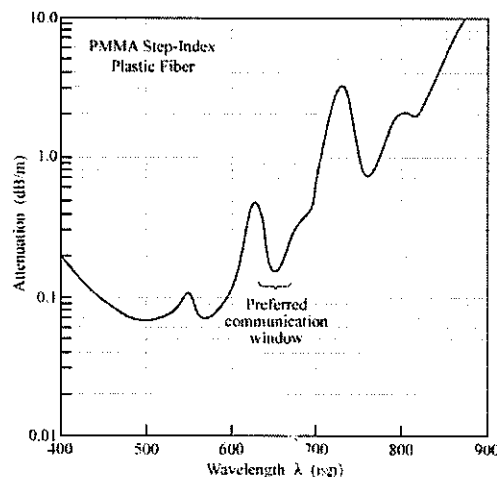


Fig. 22.3. Attenuation of a PMMA step-index plastic optical fiber. At 650 nm, the preferred communication wavelength, the attenuation is about 150 dB/km (after data sheet of Toray Industries Ltd., 2002).

Exercice II Transmission d'informations sur câble coaxial ou sur fibres optiques (10 points)

Un fournisseur d'accès internet souhaite étudier différentes solutions de transmission de signaux : utilisation du réseau câblé (par exemple le réseau TV par câble), utilisation d'un réseau fibre optique multimode (type OM3), utilisation d'un réseau fibre plastique (FOP). On veut caractériser chaque type de réseau en fonction des performances du media de transmission, soit pour des signaux de 1 ou 10 MHz (pour une distribution à l'abonné), soit pour un signal à 100 MHz (par exemple pour distribuer un immeuble de 10 abonnés) ou 1 GHz (Ethernet Gigabit).

II.1 Étude du réseau câblé :

Pour le câble, les caractéristiques données incluent à la fois les effets d'atténuation et de dispersion qui sont traduits en une caractéristique unique de pertes en dB/km.

Fréquence porteuse	1MHz	10MHz	100MHz	1 GHz
Pertes du câble RG8 (dB/km)	5	15	50	200

Propriétés du câble coaxial RG8 :

On considère qu'il faut que la puissance moyenne reçue en fin de ligne de 100 nW.

- II.1.a Calculez cette puissance de sortie (P_s) en dBm.
- II.1.b La totalité des pertes acceptées est de 40 dB. En déduire la puissance d'émission.
- II.1.c Rappeler le lien entre les pertes linéiques exprimées en dB/km, la longueur de transmission (L), la puissance d'entrée (P_e) et la puissance de sortie (P_s).
- II.1.d Calculer la longueur maximale de câble pour des signaux de 1, 10 puis 100 MHz.

II.2 Étude du réseau à fibre silice à gradient d'indice OM3

Pour la fibre OM3, on distingue les pertes dues à l'atténuation et les effets de dispersion.

Longueur d'onde : 850 nm	Pertes d'atténuation en dB/km	Bande passante en MHz.km
Fibre silice à gradient d'indice OM3	2.5 dB/km (à 850 nm)	2000

Propriétés des fibres optiques pour une longueur d'onde de 850 nm

- II.2.a On étudie que les pertes d'atténuation et on néglige la dispersion dans la fibre. Quelle est la longueur maximale de fibre que l'on va pouvoir déployer pour des pertes admissibles de 40 dB ?
- II.2.b Quelle est la bande passante pour 1 km de fibre ? Pour 2 km de fibre ?
- II.2.c On néglige désormais les pertes d'atténuation dans la fibre, et on étudie seulement la dispersion. Quelle est la longueur maximale de fibre déployable pour un signal à 10 MHz ? à 100 MHz ? à 1 GHz ?
- II.2.d A partir des résultats obtenus précédemment donner la longueur maximale de fibre en silice que l'on peut déployer pour tenir compte des limites liées aux pertes d'atténuation et des limites liées à la dispersion.

II.3 Étude du réseau à fibre plastique à saut d'indice FOP

Pour la fibre FOP, on distingue les pertes dues à l'atténuation et les effets de dispersion.

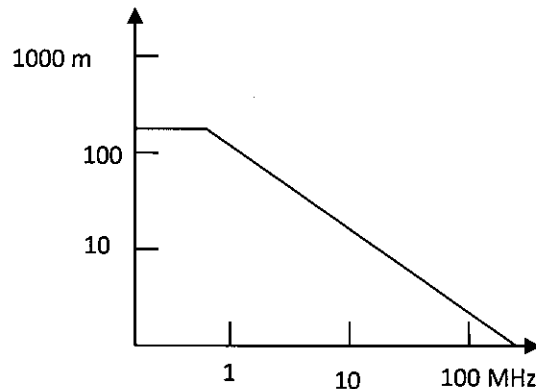
Longueur d'onde : 650 nm	Pertes d'atténuation en dB/km	Bande passante en MHz.km
Fibre plastique à saut d'indice ($n_{\text{coeur}} = 1.6$, $n = 1.529$)	200 dB/km (à 650 nm)	À calculer

- II.3.a On étudie que les pertes d'atténuation et on néglige la dispersion dans la fibre. Quelle est la longueur maximale de fibre que l'on va pouvoir déployer pour des pertes admissibles de 40 dB ?
- II.3.b Calculer à l'aide des données du tableau et de l'annexe le produit bande passante*kilomètre (en MHz.km) de la fibre FOP.
- II.3.c A partir de la question précédente la bande passante (MHz) pour 1 m de fibre. Idem pour 100 m de fibre ? pour 1 km ?
- II.3.d On néglige désormais les pertes d'atténuation et on étudie de la bande passante, quelle est la longueur maximale de fibre que l'on va pouvoir déployer pour un signal à 10 MHz ? à 100 MHz ? à 1 GHz ?
- II.3.e Si l'on tient compte des limites liées aux pertes d'atténuation et des limites liées à la dispersion, quelles est la longueur de fibre maximale pour une bande passante de 10 MHz et pour une bande passante de 1 GHz ?

II.4 Comparaison des trois technologies

- II.4.a Construire un diagramme log-log montrant, pour les trois technologies, la longueur maximale de transmission en fonction de la bande passante de transmission (en MHz)

Exemple de diagramme (ne correspond à aucun des systèmes étudiés ici) :

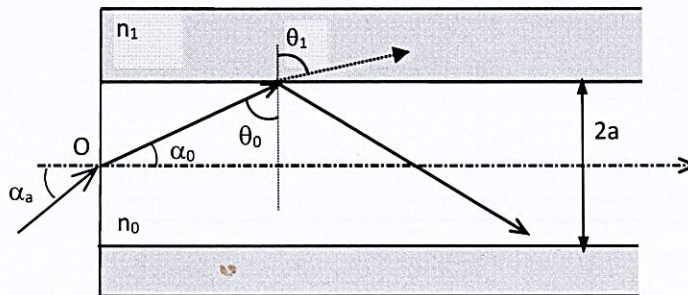


- II.4.b Expliquez dans quelle zone le système est limité par les pertes et dans quelle zone il est limité par la dispersion.
- II.4.c Conclure sur les (ou la) technologie(s) à utiliser pour propager un signal à 100 MHz sur plusieurs centaines de mètres. Et pour propager un signal à 10 MHz dans un appartement d'un immeuble ?

Exercice III Excitation d'une fibre à saut d'indice (6 points)

Un guide optique est constitué d'un cœur de rayon a et d'indice n_0 et d'une gaine d'indice n_1 . En entrée de guide, un rayon passant par O est incliné d'un angle α_a sur l'axe Ox dans l'air (indice 1), il est réfracté dans le guide selon un angle α_0 puis il est réfléchi selon un angle θ_0 sur l'interface entre le cœur et la gaine. Au niveau de cette interface, on peut également avoir un rayon transmis dans la gaine selon un angle θ_1 .

- III.1 Écrire la relation liant les angles θ_1 et θ_0 et les indices n_1 et n_0 . Écrire $\cos \theta_1$ en fonction de $\sin \theta_0$.
- III.2 A quelle condition sur n_1 et n_0 a-t-on toujours un rayon réfléchi dans le cœur et un autre rayon réfracté dans la gaine ?
- III.3 Dans le cas où la condition précédente n'est pas vérifiée montrer qu'il existe un angle limite θ_0 au-delà duquel $\cos \theta_1$ ne peut pas prendre une valeur réelle.
- III.4 Donner l'expression de cet angle critique de guidage θ_{0c} au-delà duquel le rayon est uniquement guidé dans le cœur. Définir aussi l'angle auquel il correspond à l'extérieur de la fibre (dans l'air) α_{ac} .
- III.5 Montrer que $\sin^2(\alpha_{ac}) = ON^2 = n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2$.
- III.6 On excite le guide avec un faisceau focalisé avec un angle au sommet supérieur à α_{ac} . Expliquez ce qui se passe en termes de qualité d'injection de la lumière dans le guide.



ANNEXE : RAPPEL DE FORMULES DE COURS

Rappels de cours

1. Pour une fibre à saut d'indice multimode l'élargissement temporel d'une impulsion vaut :

$$\Delta T = \frac{L(n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}})}{2c}$$

2. Pour une fibre à gradient d'indice l'élargissement temporel vaut : $\Delta T = \frac{L(n_{\text{cœur}} - n_{\text{gaine}})^2}{4cn_{\text{cœur}}}$

3. Bande passante d'une fibre : $\Delta f = \frac{1}{2\pi \cdot \Delta T}$

4. On définit l'ouverture numérique par : $ON^2 = n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2$