

## TRANSMISSION OPTIQUE

### LES FIBRES OPTIQUES : PROPAGATION, CARACTERISTIQUES ET BILAN DE LIAISON D'UN SYSTEME OPTIQUE

#### I. Qu'est-ce qu'une fibre optique ?

##### La fibre optique : Présentation

La *fibre optique* est composée d'un revêtement plastique (rôle de protection, aucun rôle optique), du cœur (rôle de confinement optique) et d'une gaine (rôle de confinement optique).

Entre le cœur et la gaine, on a :  $n_1 > n_2$  avec  $\begin{cases} n_1 \text{ indice optique du cœur} \\ n_2 \text{ indice optique du verre} \end{cases}$

Classifications possibles d'une fibre :

– *profil d'indice :*

##### i. Fibre à saut d'indice (SI)

##### ii. Fibre à gradient d'indice (GI)

– *géométrie de la fibre et propagation :*

##### i. Fibre multimode (M)

Le diamètre du cœur est de l'ordre de  $50\mu\text{m}$  pour un diamètre de gaine de l'ordre de  $125\mu\text{m}$ . Ainsi, on a plusieurs modes de propagation (plusieurs directions possibles de propagation dans la fibre).

##### ii. Fibre monomode (m)

Le diamètre du cœur est beaucoup plus petit :  $5\mu\text{m}$

Ici, un SEUL mode de propagation dans la fibre.

#### II. Comment se propage la lumière dans une fibre optique ?

##### • Théorie de l'électromagnétique

On utilisera pour cette méthode les équations de Maxwell et les modes de propagation (diagrammes des modes)

La lumière est une onde électromagnétique avec distribution lumineuse en sortie de guide et confinement dans le cœur.

Pour la multimodalité, on a  $v = \frac{2\pi a}{\lambda}$  O.N.

La fibre est monomode ssi  $v < 2,404$

$2a$  est le diamètre du cœur (très petit, surtout pour les monomodes)

La fibre optique est caractérisée par son atténuation et sa dispersion (qui dépend de la position des répartisseurs – régénérateurs)

Atténuation :

Il existe deux atténuations : intrinsèque et extrinsèque (due aux raccordements et courbures).

– Atténuation intrinsèque

On observe des pics d'absorption dus à la présence infinitésimale de molécules d'eau dans la fibre (dès la fabrication de la préforme).

La longueur d'onde  $850\text{nm}$  est obsolète. On travaille à  $1300$  ou  $1550\text{nm}$ .

Il est préférable en terme d'atténuation, de travailler à  $1550\text{nm}$ .

– Atténuation extrinsèque

Cette atténuation dépend de l'installation réelle de la fibre dans le système (courbures, raccordements dus aux connecteurs et épissures)

Connecteur : raccordement amovible entre la fibre et l'équipement

Épissure : raccordement fixe entre deux longueurs de câble à fibre (soudure ou collage) → tous les 3km en terrestre.

La dispersion intermodale :

L'énergie lumineuse s'équirépartit sur tous les modes.

Il y a dispersion intermodale pour les multimodes (à saut d'indice et à gradient d'indice), mais pas pour les monomodes (1 seul mode!)

Une question se pose alors : les fibres monomodes ont-elles une bande passante infinie ?

La dispersion chromatique :

Elle existe dans les fibres multimodes et monomodes. Ceci est dû au fait qu'une source n'est JAMAIS monochromatique et les différentes longueurs d'onde de la source ne se propagent pas à la même vitesse.

→ Élargissement du signal

L'étalement temporel dû à la dispersion du signal s'exprime alors de la manière suivante :

$$\Delta t_g = D_g(\lambda) \cdot \Delta \lambda \cdot L \quad \text{avec} \quad \begin{cases} \Delta \lambda \text{ largeur spectrale de la source} \\ L \text{ longueur de la fibre} \\ D_g(\lambda) \text{ coefficient de dispersion du guide d'onde} \end{cases}$$

Culture : La dispersion dans le matériau et le guide d'onde est quasi nulle pour  $1,3 \mu\text{m}$

Pour minimiser la dispersion chromatique, on utilise des composants à largeur spectrale la plus

faible possible et utiliser  $\begin{cases} \lambda = 1,55 \mu\text{m} \text{ si MGI} \\ \lambda = 1,3 \mu\text{m} \text{ si MSI} \end{cases}$

La bande passante pour une MSI, en Hertz, est définie par :  $B(\text{Hz}) = \frac{0,35}{\Delta t(s)} = \frac{0,35}{\sqrt{\Delta t_{\text{im}}^2 + \Delta t_{\text{chr}}^2}}$

Pour une fibre monomode  $B_{\text{mono}} = \frac{0,35}{D_{\text{chr}}(\lambda) \cdot \Delta \lambda \cdot L}$

Pour une MGI  $\frac{1}{B_{L(\text{km})}^2} = \frac{L^2}{B_0^2} + \frac{D_{\text{chr}}^2(\lambda) \cdot \Delta \lambda^2 \cdot L^2}{0,35^2}$

• **Optique géométrique (théorie des rayons)**

Ici, on utilisera une approximation classique :  $\lambda \ll$  dimension du guide

On part alors du principe suivant : rayon = direction de propagation = mode

Lois de Descartes :

$$\begin{cases} \theta_i = \theta_r \\ n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \end{cases}$$

L'ouverture numérique définit le cône d'acceptance (ou cône d'injection) à partir duquel on peut avoir des modes guidés. En dehors de ce cône d'acceptance, il y a des pertes dans la réflexion et ce ne sont pas des modes guidés. Plus le cône d'acceptance est petit, plus il est difficile d'obtenir des modes guidés.

L'ouverture numérique est définie par  $\text{O.N.} = \sin(i_0) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

Pour une multimode à gradient d'indice, si l'on ne précise la position d'entrée du rayon dans le système, on supposera que le rayon est injecté en son centre et l'on a

$$\text{ON} = \sqrt{n(r)^2 - n_2^2} = \sqrt{n(r=0)^2 - n_2^2}$$

### Approche par la théorie des rayons :

c'est une approche simple, on a accès assez facilement à l'ouverture numérique, l'approximation  $\text{dim. guide} \gg \lambda$  est valable. Malheureusement, cette approche ne donne pas accès à la distribution lumineuse.

### **III. Bilan de liaison optique**

Le *bilan de liaison optique* consiste en un bilan de puissance (atténuation) ET un bilan de bande passante (dispersion).

#### – Bilan de puissance

La puissance reçue par une photodiode doit toujours être supérieure à sa puissance de seuil ou (ce qui est équivalent) satisfaire un certain rapport signal à bruit  $S/B \rightarrow L_{max1}$

La puissance reçue par une photodiode doit toujours être inférieure à sa puissance de saturation  $\rightarrow L_{min}$

#### – Bilan de bande passante

On calcule la bande passante en utilisant les formules données précédemment.

Critère de Nyquist :

$$D_{code} \Rightarrow R \Rightarrow B_{min} \text{ que doit posséder la fibre : } B_{min} = 0,7 R$$

Le  $D$  est généralement donné dans l'énoncé, on en déduit  $R$  via le code de la fibre ...

- Si  $B_{fibre} < B_{min}$  le signal est trop déformé pour être correctement remis en forme par le RR
- Si  $B_{fibre} > B_{min}$  le signal est déformé mais peut être correctement remis en forme par le RR

Le bilan de bande passante nous donne alors  $L_{max2}$

Bilan de puissance :

$L_{RR} = \text{portée de régénération} = \min(L_{max1}, L_{max2})$
---