

LES FIBRES OPTIQUES

1) Propagation des modes dans les fibres :

→ Mode de propagation :

$$\cos \varphi = (m\pi + \theta(\varphi)) \frac{\lambda_0}{2\pi \cdot n_1 \cdot d}$$

A chaque valeur de m est associé un angle φ_m solution de l'équation ci dessus.

A chaque φ_m est associé une figure d'interférence.

→ cette figure d'interférence est appelée mode de propagation

- les angles φ sont discret (pas de continuité possible)
- Pour que le rayon se propage il faut réflexion totale aux interfaces, il faut $\varphi > \varphi_c$ (φ_c = angle limite)

Fréquence spatiale normalisée :

$$V = \frac{2\pi}{\lambda_0} d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Condition sur m : $m < V / \pi$

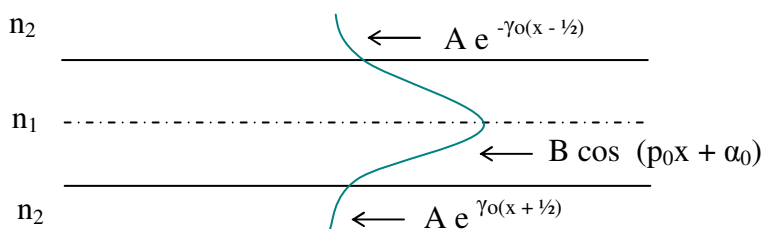
Il existe toujours un mode associé à $m = 0$ → mode fondamentale

Si l'équation n'est pas vérifiée pour $m = 1$ → un seul mode se propage

→ guide monomode

→ Structure des modes dans un guide plan :

pour mode fondamental ($m = 0$) :



→ Autre expression de la condition de propagation :

Le rayon se propage si :

$$\begin{aligned} \varphi_c &\leq \varphi < 90^\circ \\ \sin \varphi_c &\leq \sin \varphi < 1 \\ n_2/n_1 &\leq \sin \varphi < 1 \end{aligned}$$

On aura : $k \cdot (n_2/n_1) \leq \beta = k \cdot \sin \varphi < k$
 Avec $k = k_0 n_1$ $k_0 n_1 \cdot (n_1/n_2) \leq \beta < k_0 n_1$
 $k_0 n_2 \leq \beta < k_0 n_1$

On pose: $\beta = k_0 n_e$ (ne = indice effectif du milieu)

$$k_0 n_2 \leq k_0 n_e < k_0 n_1$$

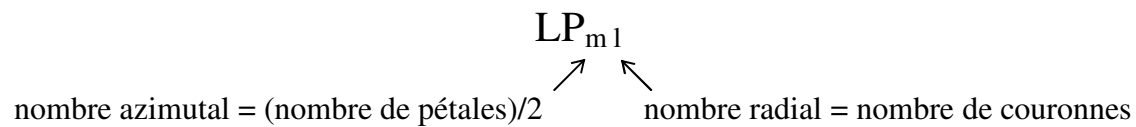
$$n_2 \leq n_e < n_1$$

→ description des modes :

Dans le cas de l'approximation du guidage faible :

Des modes différents ont même β , donc même n_e et même V ($V = c/n_e$)

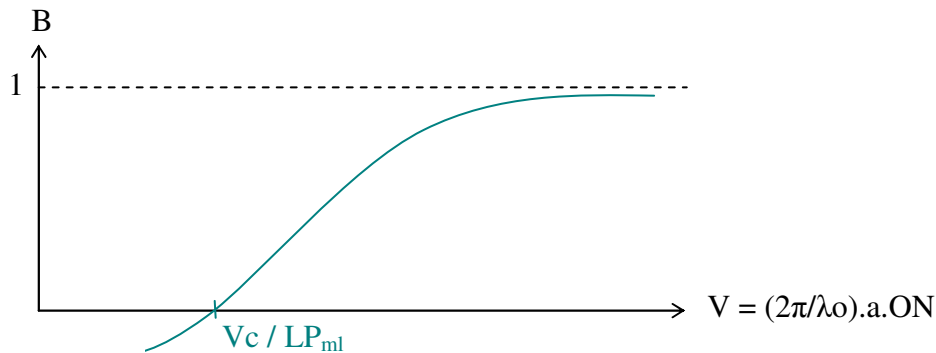
On les regroupe dans une famille appelé mode LP :



→ Condition de propagation des modes LP_ml, λ de coupure :

Le mode LP_ml est guidé si : $k_0 n_2 \leq \beta < k_0 n_1$
 $0 \leq \beta < 1$

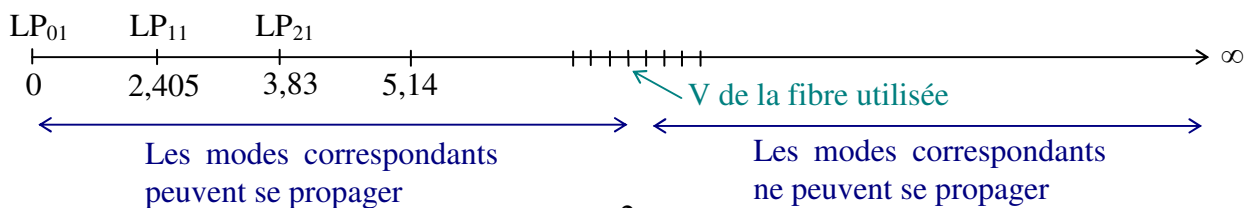
pour chaque mode on peut tracer une courbe $B = f(V)$: (ne dépend pas de la fibre)



Il faut $V \gg V_c$ du mode LP_ml considéré

Chaque mode LP_ml possède une valeur de V_c qui est indépendant de la fibre

On peut classer tout les V_c sur un axe de 0 à l'∞ : (exemple)



Frontière entre domaine bimode et monomode :

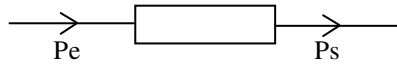
$$\left. \begin{array}{l} \text{Si } V < 2,405 \\ (2\pi/\lambda).a.ON < (2\pi/\lambda_c).a.ON \\ \lambda > \lambda_c / LP_{11} \end{array} \right\} \text{ Monomode}$$

remarque :

- dans une fibre à saut il y a $\approx V^2 / 8$ modes LP
- dans une fibre à gradient il y a $\approx V^2 / 16$ modes LP

2) Les coupleurs à fibre optique :

→ Atténuation des composants :



$$\alpha = 10 \log (Pe/Ps) \text{ (en dB)}$$

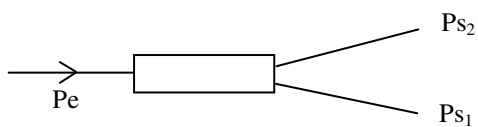
→ Conversion en dBm :

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log P \text{ (mW)}$$

$$P \text{ (mW)} = 10^{P(\text{dBm})/10}$$

$$\alpha \text{ (dB)} = Pe \text{ (dBm)} - Ps \text{ (dBm)}$$

→ Coefficient de partage :



(Ps_1 et Ps_2 en mW)

$$C_1 = \frac{Ps_1}{Ps_1 + Ps_2} \cdot 100 \%$$

$$C_1 = \frac{Ps_2}{Ps_1 + Ps_2} \cdot 100 \%$$

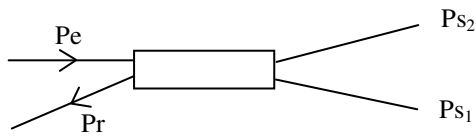
→ Pertes d'insertion :

$$\alpha \text{ ins}(i) = 10 \log (Ps/Psi)$$

→ Pertes en excès :

$$\alpha_{exc} = 10 \log (P_e / \sum P_{s_i})$$

→ Diaphonie :



$$D \text{ (dB)} = -10 \log (P_e / P_r)$$

3) Vitesse de phase, de groupe, dispersion :

→ Vitesse de phase :

• *En espace libre :*

$$V_\phi = \lambda / T = \omega / k = c / n$$

• *En propagation guidée :*

$$V_\phi = \omega / \beta = \omega / (k_0 n_e) = c / n_e$$

β = constante de propagation
 n_e = indice effectif

$$V_\phi \text{ dans gaine} \rightarrow \underline{c / n_2 < V_\phi < c / n_1} \leftarrow V_\phi \text{ dans coeur}$$

→ Vitesse de groupe :

• *En espace libre :*

Vitesse de propagation de l'impulsion : $V_g = \omega / k = d\omega / dk$

• *En propagation guidée :*

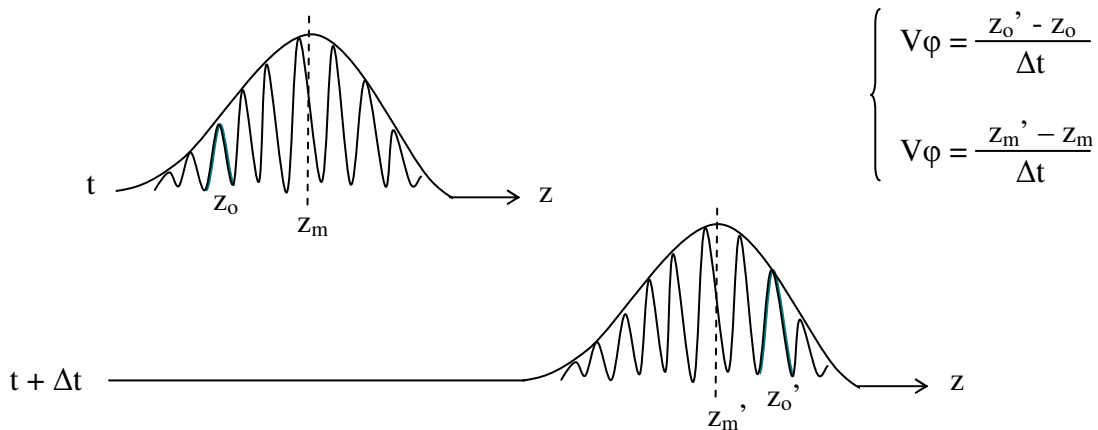
$$V_g = d\omega / d\beta = (\lambda \sin\phi) / T$$

On définit N = indice de groupe tel que: $V_g = c / N$

Dans un milieu n_1 $N = n - \lambda(dn / d\lambda)$

- Si le milieu n'est pas dispersif : $V_\varphi = V_g$
- Si le milieu est dispersif : $V_g < V_\varphi$

→ Schéma bilan :



→ Dispersion dans les fibres :

- *fibre multimode :*

$$\boxed{tg = L / c} \quad (tg = \text{temps de groupe})$$

dispersion intermodale :

$$\boxed{D = \tau / L} \quad (\tau = tg_{\max} - tg_{\min})$$

- *fibre monomode :*

Pas de dispersion intermodale mais chaque composante chromatique d'une impulsion à sa propre vitesse.

Largeur spectral : $\Delta\lambda = \Delta f \cdot (\lambda^2/c)$

Dispersion chromatique : $\boxed{D_c = \frac{\tau}{L \cdot \Delta\lambda}}$ ($D_c \approx D_{gui} + d_m$)

Dispersion du matériaux : $\boxed{D_m = \frac{-L}{c} \cdot \frac{d^2n_1}{d\lambda^2}}$

4) Réfléctométrie:

Le réflectomètre est un appareil qui permet de :

- mesurer l'atténuation d'une fibre
- localiser des connecteurs, des défauts
- mesurer les pertes
- mesurer la longueur de la liaison

C'est une technique basée sur des mesures de « lumière perdue » par la fibre causé soit par l'absorption soit par la diffusion sur des micro inhomogénéités.

→ Atténuation linéique :

$$P(z) = P_0 e^{-\alpha z}$$

Donc : $\alpha = (10/z) \log (P_0 / p(z))$

→ principe du reflectomètre :

