

OG1 - Activité n°5 : Fibre optique à saut d'indice

1. Il faut que la diffraction soit négligeable, donc

diamètre du cœur $\gg$ longueur d'onde

↑
au moins $10 \mu\text{m}$

↑
moins de $800 \text{ nm} = 0,8 \mu\text{m}$
(dans le visible)

On peut considérer que cette condition est remplie.

2. Pour qu'il y ait de la réflexion totale sur le diélectre cœur/gaine, il faut $n_1 > n_2$

Par ailleurs, il faut :

$$i_1 > i_{\text{lim}} \quad \text{où} \quad \sin(i_{\text{lim}}) = \frac{n_2}{n_1}$$

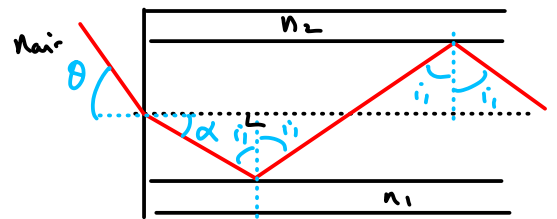
$$\Leftrightarrow \sin(i_1) > \frac{n_2}{n_1} \quad \text{car } x \rightarrow \sin x \text{ est strictement croissante sur } [0, \frac{\pi}{2}]$$

$$\Leftrightarrow \sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) > \frac{n_2}{n_1}, \quad \text{car } \alpha + i_1 = \frac{\pi}{2}$$

$$\Leftrightarrow \cos \alpha > \frac{n_2}{n_1} \quad (*)$$

$$\text{Or } \begin{cases} n_{\text{air}} \sin \theta = n_1 \sin \alpha & \Leftrightarrow \sin \alpha = \frac{\sin \theta}{n_1} \quad (\text{avec } n_{\text{air}} = 1) \\ \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1 & , \text{ d'où } \cos^2 \alpha = 1 - \sin^2 \alpha \end{cases}$$

$$\underline{\text{Ainsi}} \quad (*) \Leftrightarrow 1 - \frac{\sin^2 \theta}{n_1^2} > \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \text{car } x \rightarrow x^2 \text{ est croissante sur } \mathbb{R}^+$$
$$\Leftrightarrow n_1^2 - \sin^2 \theta > n_2^2$$



$$\Leftrightarrow \sin^2 \theta < n_1^2 - n_2^2$$

$$\Leftrightarrow \sin \theta < \sin \theta_{\text{lim}}$$

$$\text{ou } \sin \theta_{\text{lim}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

3. On a : $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$

$$n_1 \Delta = n_1 - n_2$$

$$n_2 = n_1 (1 - \Delta)$$

AN : $n_2 = 1,485$, si $n_1 = 1,500$

(écart très faible !)

D'où $\theta_{\text{lim}} = \text{Arcsin} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

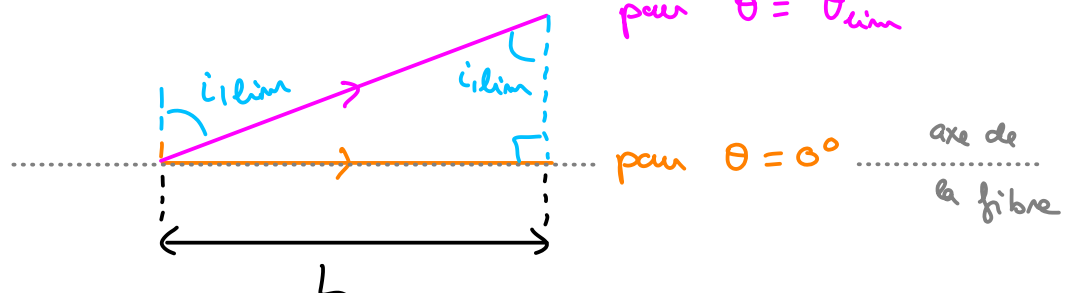
$$= \text{Arcsin} \left[n_1 \sqrt{1 - (1 - \Delta)^2} \right]$$

$$\theta_{\text{lim}} = \text{Arcsin} \left[n_1 \sqrt{2\Delta - \Delta^2} \right]$$

$$\begin{aligned} & \downarrow (1 - \Delta)^2 \\ & = 1 - 2\Delta + \Delta^2 \end{aligned}$$

AN : $\theta_{\text{lim}} = 12^\circ$

4. Pour une distance de parcours L quelconque :



la différence de temps de parcours entre

le rayon confondu avec l'axe de la fibre
et le rayon à la limite du cône d'acceptance est :

$$\tau_{\text{lim}} = \frac{L / \sin(i_{\text{lim}})}{\underset{\substack{\uparrow \\ \text{vitesse de} \\ \text{propagation dans le cœur}}}{c/n_1}} - \frac{L}{c/n_1}$$

$$\tau_{\text{lim}} = \frac{n_1 L}{c} \left(\frac{1}{\sin(i_{\text{lim}})} - 1 \right)$$

$$\tau_{\text{lim}} = \frac{n_1 L}{c} \left(\frac{n_1}{n_2} - 1 \right)$$

avec $n_2 = n_1 (1 - \Delta)$:

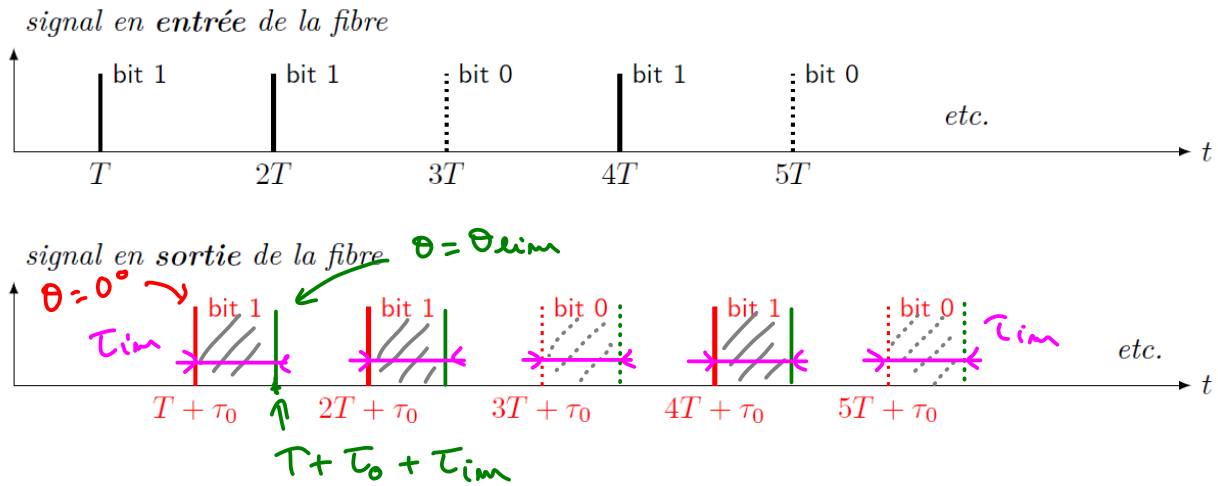
$$\begin{aligned} \tau_{\text{lim}} &= \frac{n_1 L}{c} \left(\frac{1}{1 - \Delta} - 1 \right) \\ &= \frac{n_1 L}{c} \left(\frac{1 - (1 - \Delta)}{1 - \Delta} \right) \end{aligned}$$

$$\tau_{\text{lim}} = \frac{n_1 L}{c} \cdot \frac{\Delta}{1 - \Delta}$$

AN :

$$\begin{aligned} \tau_{\text{lim}} &= 5,1 \cdot 10^{-10} \text{ s} \\ &= 0,51 \text{ ns} \end{aligned}$$

5.



Pour qu'il n'y ait pas de chevauchement d'informations binaires à la sortie de la fibre, la largeur temporelle τ_{lim} de l'impulsion doit vérifier :

$$\underbrace{kT + \tau_0 + \tau_{lim}}_{\text{fin de l'impulsion } k} < \underbrace{(k+1)T + \tau_0}_{\text{début de l'impulsion } k+1}$$

$$\Rightarrow \tau_{lim} < T$$

$$\Rightarrow \frac{1}{\tau_{lim}} > \frac{1}{T}, \quad \text{avec } f = \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow f < \frac{1}{\tau_{lim}}$$

AN :

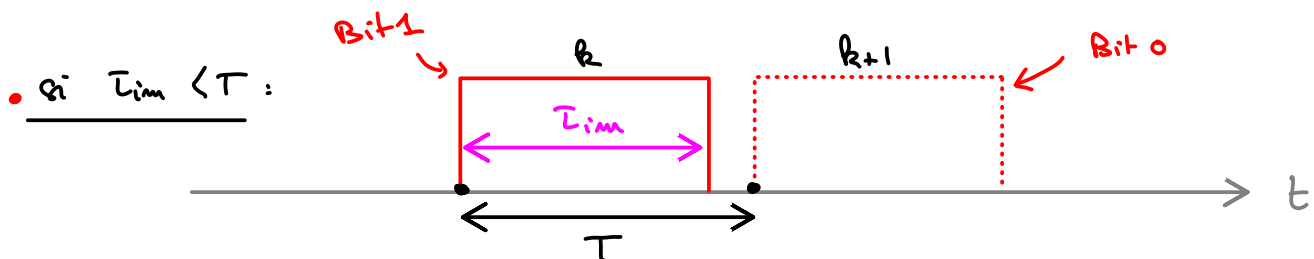
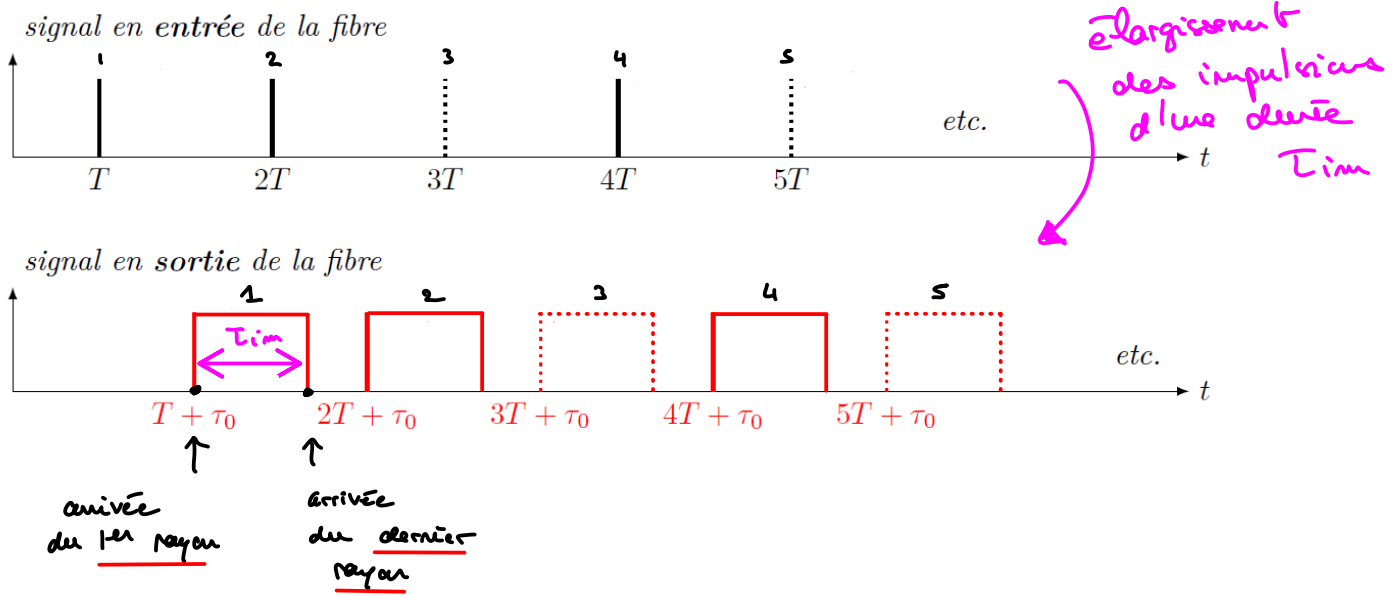
$$f < 2,0 \cdot 10^9 \text{ Hz} = 2,0 \text{ GHz}$$

(càd. 2,0 Gbit/s)

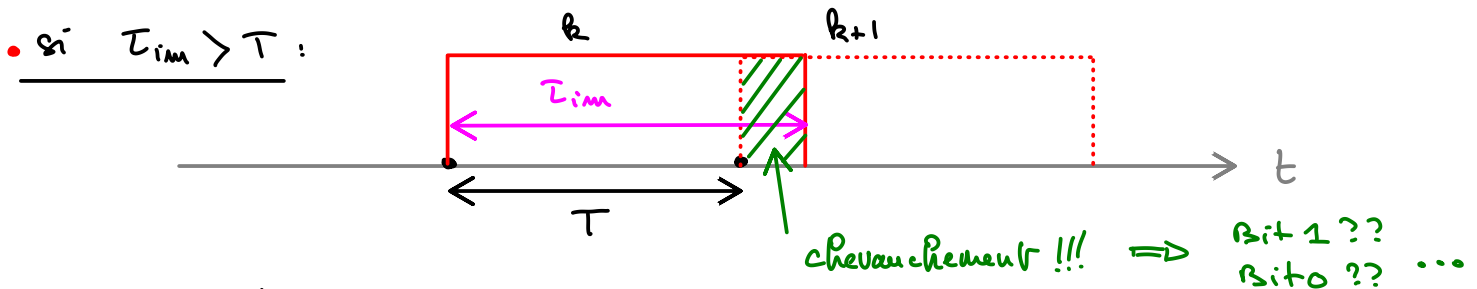
OG1 - Activité 5 (fibre optique à saut d'indice)

Une autre approche de la question 5

À cause des différences de temps de parcours des rayons suivant leurs inclinaisons, la dispersion intermodale élargit en sortie de fibre les impulsions lumineuses de l'entrée :



↳ l'information peut être décryptée en sortie de la fibre



↳ l'information devient difficilement interprétable !

⇒ Il faut donc $\tau_{im} < T \Leftrightarrow f < \frac{1}{\tau_{im}} = 2,0 \text{ GHz}$
(ou $2,0 \text{ Gb/s}$)