



ECOLE NATIONALE D'INGENIEURS DE GABES  
DEPARTEMENT G.C.R

TD N° 6

Matière : Communications Optiques

Classe : GCR2

Enseignant: M. Chokri BACCOUCH

**Exercice 1** (Bilan de liaison)

On désire transmettre 32 voies téléphoniques de 64 kbits/s au moyen d'une fibre optique sur une distance de 10 km. Pour réaliser la liaison, on se propose d'utiliser une fibre optique multimode à saut d'indice possédant les caractéristiques suivantes :

Indice de cœur :  $n_1 = 1,47$  ;  $ON = 0,15$  ; atténuation  $A = 5 \text{ dB/km}$ .

1) En tenant compte uniquement de la dispersion intermodale  $\Delta\tau$ , le choix de la fibre optique est-il réaliste ?

Pour les composants d'extrémité, on a les choix suivant

• **Sources d'émission**

$S_1$  : **Diode électroluminescente** émettant une puissance totale de  $1 \text{ mW}$ . La DEL étant placée dans l'air ( $n_0 = 1$ ) face à l'extrémité de la fibre optique. L'efficacité de couplage  $\eta_c$  est donnée par :

$$\eta_c = (ON)^2$$

$S_2$  : **Diode laser**, puissance totale  $5 \text{ mW}$ , rendement de couplage diode-fibre 50%.

• **Récepteurs** *mais faut 3rd bilan de liaison.*

$D_1$  : **Photodiode PIN**, sensibilité  $0,5 \text{ A/W}$ .

$D_2$  : **Photodiode à avalanche**, sensibilité  $50 \text{ A/W}$ .

Afin d'assurer le taux d'erreur spécifié, la puissance minimale du signal au détecteur est  $P_{\min} = 10 \text{ nW}$  dans le deux cas.

2) Calculer l'atténuation totale due au couplage et aux pertes par absorption pour les deux sources.

3) En prenant une marge de sécurité  $M = 3 \text{ dB}$ , quelles sont les combinaisons utilisables.

**Solution**

1) La dispersion intermodale est :  $\Delta\tau = \frac{Ln_1\Delta}{c} = \frac{LON^2}{2n_1c}$ .

$$t_{\max} = \frac{n_1^2 L}{n_2 c}$$

$$t_{\min} = \frac{n_1 L}{1}$$

$$\Delta\tau = \frac{10^4 \cdot 0,15^2}{2,1,47 \cdot 3 \cdot 10^8} \text{ . Soit : } \Delta\tau = 0,255 \mu s \text{ .}$$

La durée d'un bit est donnée par :  $T_b = \frac{1}{R} = \frac{1}{32,64 \cdot 10^3} = 0,488 \mu s$  ; avec :

$R = 32,64 \text{ kbits/s} = 2,048 \text{ Mb/s}$  est le débit binaire.

Afin d'éviter toute interférence entre deux symboles binaires successifs, l'élargissement temporel  $\Delta\tau$  d'une impulsion à travers la fibre doit satisfaire la condition :  $\Delta\tau \leq T_b$  ; ce qui est le cas de notre fibre. Le choix de cette fibre est donc justifié.

2) Soit  $B_1$  et  $B_2$  l'atténuation totale due au couplage et aux pertes par absorption respectivement pour les sources  $S_1$  et  $S_2$ . On a alors :

$$B_1 = AL + |10 \log(\eta_c)| = AL + |10 \log(ON^2)| = 5,10 - 10 \log(0,15^2) \text{ .}$$

Soit :  $B_1 = 66,48 \text{ dB}$  .

$$B_2 = AL + |10 \log(\eta_c)| = 5,10 - 10 \log(0,5) \text{ . Soit : } B_2 = 53 \text{ dB} \text{ .}$$

3) Calculons le bilan de liaison ( $P_r$  puissance reçue par la photodiode) pour les 4 combinaisons possibles :

a- Combinaison :  $S_1 + FO + D_1$  ; on a

$$P_{r11} = P_{e1}(\text{dBm}) - B_1 - 3 = 0 - 66,48 - 3 = -69,48 \text{ dBm} \text{ .}$$

b- Combinaison :  $S_1 + FO + D_2$  ; on a

$$P_{r12} = P_{e1}(\text{dBm}) - B_1 - 3 = 0 - 66,48 - 3 = -69,48 \text{ dBm} \text{ .}$$

c- Combinaison :  $S_2 + FO + D_1$  ; on a

$$P_{r21} = P_{e2}(\text{dBm}) - B_2 - 3 = 10 \log(5) - 53 - 3 = -49 \text{ dBm} \text{ .}$$

d- Combinaison :  $S_2 + FO + D_2$  ; on a

$$P_{r22} = P_{e2}(\text{dBm}) - B_2 - 3 = 10 \log(5) - 53 - 3 = -49 \text{ dBm} \text{ .}$$

Or la puissance minimale du signal détectable est :

$$P_{\min} = 10 \text{ nW} = 10 \log(10^{-5}) = -50 \text{ dBm} \text{ .}$$

Les combinaisons réalisables sont telles que :  $P_r \geq P_{\min}$  ; c'est-à-dire les combinaisons c et d :

$S_2 + FO + D_2$  (ou  $D_2$ ).

## EXERCICE 2

Un opérateur de télécommunication veut connecter 64 abonnés sur un réseau optique passif(PON) en utilisant des coupleurs 1×4 en cascade.

L'émetteur est une diode laser de type Fabry Péro couplant une puissance moyenne de 6mW dans la fibre avec une largeur spectrale égale à 5nm. La diode laser de type Fabry Péro possède un pourcentage de couplage dans la fibre égal à 50%.

La fibre optique monomode G.652 employée est de dispersion chromatique  $D=3,5\text{ps}/(\text{km}\cdot\text{nm})$  à  $1,3\mu\text{m}$  et possède une atténuation linéique égale à  $2,5\text{dB}/\text{km}$ .

Il y a un connecteur de perte égale à 1dB entre les différents composants de la liaison optique. Le coupleur 1×4 présente une perte de l'ordre de 3dB. On suppose que les coupleurs 1×4 en



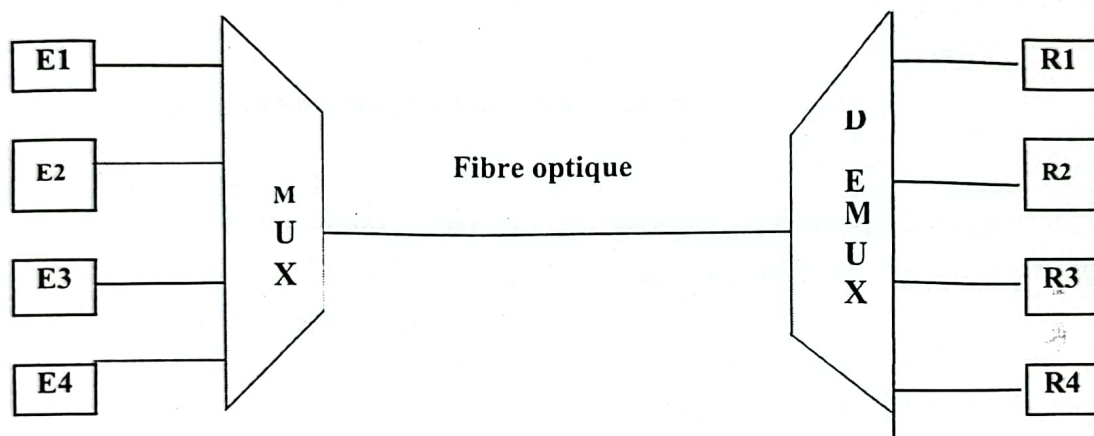
cascade sont reliés à travers une fibre optique monomode G.652. Le dernier coupleur  $1 \times 4$  de la liaison est relié à l'unité optique du réseau (ONU) à travers une fibre optique monomode G.652.

Le récepteur est une photodiode PIN caractérisée par une sensibilité égale à  $0.5 \text{ A/W}$  et un niveau minimum de détection égal à  $-64 \text{ dBm}$ .

- 1) Donner un schéma de l'ensemble de la liaison du système.
- 2) Quel est le nombre total de coupleurs  $1 \times 4$  nécessaires pour cette liaison ?
- 3) Quel est le nombre total de connecteurs nécessaires pour cette liaison ?
- 4) Calculer la puissance moyenne couplée dans la fibre en  $\text{dBm}$ .
- 5) Etablir le bilan de liaison du système sachant qu'on ajoute une marge égale à  $6 \text{ dB}$ .
- 6) Calculer la portée de la liaison du système.
- 7) En déduire le débit binaire de la liaison du système.

### EXERCICE 3

Soit le système WDM optique formé par 4 émetteurs, un multiplexeur (MUX), une fibre optique monomode, un démultiplexeur (DEMUX) et 4 récepteurs représenté par le schéma suivant :



Sachant qu'il y a un connecteur entre l'émetteur et le multiplexeur, entre le multiplexeur et la fibre optique, entre la fibre optique et le démultiplexeur et entre le démultiplexeur et le récepteur. Le connecteur introduit une perte de  $0.5 \text{ dB}$ .

L'émetteur est une diode laser qui fournit une puissance moyenne  $P_e = 20 \text{ mW}$  et possède une largeur spectrale égale à  $0.1 \text{ nm}$ .

Le multiplexeur et le démultiplexeur introduisent chacun une perte égale à  $3 \text{ dB}$ .

Le récepteur est une photodiode PIN de puissance moyenne de réception égale à  $-64 \text{ dBm}$  pour un taux d'erreur  $\text{TEB} = 10^{-9}$ .

1. Quelle est l'utilité de multiplexeur (MUX) et de démultiplexeur (DEMUX) dans le système WDM optique.
2. Etablir le bilan de liaison sachant qu'on ajoute une marge de  $4 \text{ dB}$ .
3. Donner la portée de cette liaison sachant que la fibre utilisée possède un coefficient d'atténuation linéique  $\alpha = 0.5 \text{ dB/km}$ .
4. Calculer l'élargissement temporel des impulsions et en déduire le débit binaire de la liaison optique sachant que la fibre optique possède un coefficient de dispersion chromatique  $D = 17 \text{ ps/(km.nm)}$  à  $1.5 \mu\text{m}$ .
5. Quelle solution proposez-vous pour atteindre une portée égale à  $300 \text{ km}$  avec le même taux d'erreur binaire? Donner le nouveau schéma de la liaison optique.

Ex 1:

$$1) \Delta t = t_{\max} - t_{\min} = L \cdot \frac{n_1}{c} \left( \frac{n_1}{n_2} - 1 \right) = \frac{L \cdot n_1 \Delta}{c} = L \cdot \frac{0.01}{\Delta n_1 c} = 9.215 \mu s$$

$$T_b = \frac{1}{D_b} \cdot \frac{1}{32.4 \cdot 10^3} = 0.188 \mu s$$

Condition satisfaisant:  $\Delta t < T_b$ 

→ choix de fibre est justifié.

$$2) B_1(f) = 1 \cdot L + \text{perte de couple} (\text{source}) -$$

$$= 5 \times 10 + 10 \log(10)$$

$$= 50 + 10 \log(0.01)$$

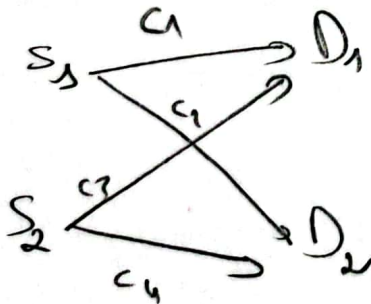
$$= 66.48 \text{ dB}$$

$$B_2(f) = 1 \cdot L + \text{perte couple} (\text{source} + \text{fibre})$$

$$= 5 \times 10 + 10 \log(10) = 50 + 10 \log(0.01)$$

$$= 53 \text{ dB}$$

3) 4 combinaisons: pour chacune on calcule la puissance au niveau de réception

Combinaison 1:  $S_1 \rightarrow D_1$ 

$$P_{115} = P_{e1} - B_1 - \pi_1 = 10 \log(10^3) - 66.48$$

$$= -99.48 \text{ dB} = -100 \text{ dBm}$$

$$-69.48$$

Combinaison 2:  $(S_1 \rightarrow D_2)$ 

$$P_{122} = P_{e1} - B_2 - \pi_1 = -129.48 \text{ dBm}$$

Combinaison 3:  $(S_2 \rightarrow D_1)$ 

$$P_{215} = P_{e2} - B_2 - \pi_1 = 10 \log(5 \cdot 10^3) - 53 - 3 = -49 \text{ dB}$$

$$= -49 \text{ dBm}$$

$$P_{222} = P_{e2} - B_2 - \pi_1 = -109 \text{ dBm}$$

Parmi les combinaisons qui vérifient la condition  $P_r \geq P_{\min}$ 

→ combinaison 3 et 4 sont acceptables.



Exercice 1.

$$1) \Delta t = t_{\max} - t_{\min}$$

$$= \frac{L \cdot m_1}{c} \left( \frac{m_1}{m_2} - 1 \right) = \frac{L m_1 \Delta}{c} = L \frac{N^2}{m_1 c}$$

$$T_b = \frac{1}{D_b} = \frac{1}{32 \times 164 \cdot 10^3} =$$

$$\text{condition: } \Delta t \leq T_b$$

$\Rightarrow$  condition vérifiée.

$$2) B_1(\text{dB}) = AL + \text{perte de couplage (source 1)}$$

$$= 5 \times 10 + 10 \log(\eta_c)$$

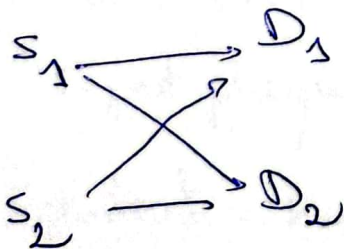
$$= 50 + 10 \log(0.12)$$

$$= 66,48 \text{ dB}$$

$$B_2(\text{dB}) = AL + \text{perte de couplage (source 2, fibre)}$$

$$= 50 + 10 \log(\eta_c) = 50 + 10 \log(0.15)$$

3)



combinaison  $c_1$   $S_1 \rightarrow D_1$

$$P_{11} = P_e - B_1 - 17 = 10 \log(10^{-3}) - 66,48$$

$$P_{12} = P_e - B_2 - 17$$

$$P_{21} = P_e$$

$$P_{22} =$$

$$1) D_{STS-1} = \frac{90 \times 9 \times 8}{125} =$$

$$2) STM_1 = 3 \cdot STS_1$$

$$D_{STM_1} = 3 \times D_{STS_1}$$

$$3) D_{\text{total}} = \frac{87 \times 5 \times 8}{125}$$

$$D_{\text{total}} STM_1 = 2 \times D_{\text{total}} (STS_1)$$

$$4 - D_{\text{total}} = \frac{1 \times 8}{125}$$

$$m_b = \frac{D_{\text{total}}}{D_{\text{total}}} = \frac{\sqrt{}}{64} = 810 \text{ Voie STS.}$$

$$5 - D_{STM_3} = 9 \times D_{STS_1}$$

$$D_{TM_2} = 12 D$$

$$m_b \text{ Voie STS}_2 = 9 \times m_b \text{ Voie STS}_1$$

$$6 - m_b \text{ paquet IL (STS-18)} = \frac{3 \times D_{STS-18}}{80} = \frac{3 \times 18 D_{STS_1}}{80}$$

$$m_b \text{ paquet (STM}_2) = \frac{3 \times \text{charg (STM}_2)}{80} = \frac{3 \times (12 \times 810)}{80}$$

4) ce sont deux technique de transport vers le rx haut débit