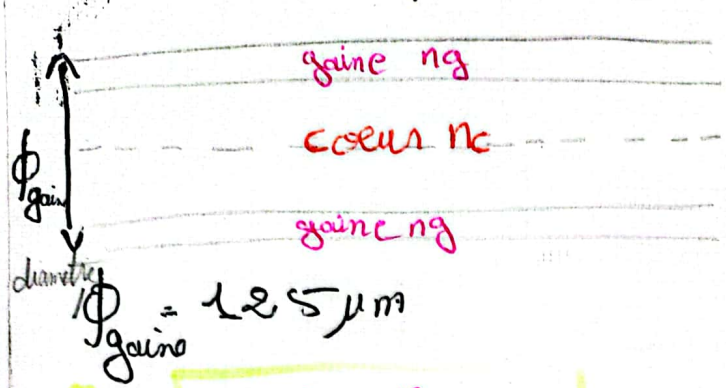
Comm Optique

Cable coaxiale : signal électrique (faible freq)
FO (haute tension)

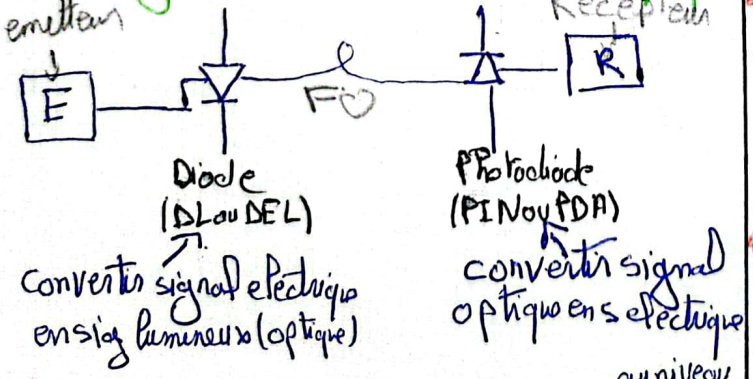


$n_c > n_g$
Pegerement

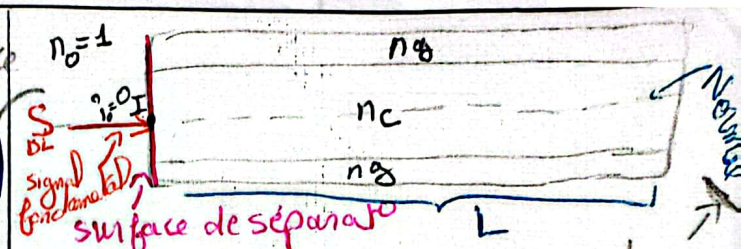
Yp 3 type de FO :

monomode	multimode
$\phi_{coeur} = 3 \sim 10\,\mu m$	$\phi_{coeur} = 50 \sim 100\,\mu m$
longue distance	courte distance
DL : diode laser	DEL diode électroluminiscente
1 seul laser avec forte puissance	faisceaux lumineux

Système de communication optique







$n_c > n_0$ car n c'est le plus petit milieu

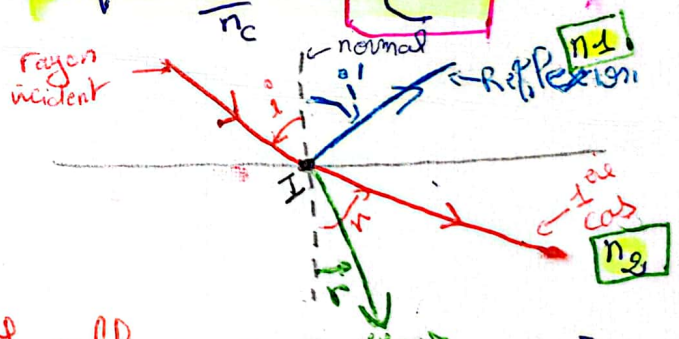
c ⊥ au surface de separation

Une source DL produit un signal lumineux fondamental tengant à la normal

* Vitesse de la lumière
  * ds le vide : $V = \frac{c}{n_0} = C = 3.10^8\ m.s^{-1}$
  * ds un milieu $V = \frac{c}{n_{milieu}}$

* Temp de propagation d'un signal

$$t = \frac{D}{V} = \frac{L}{\frac{c}{n_c}} = \frac{L\,n_c}{c}$$



* La reflexion : Changement de la direct de lumière en restant ds le m milieu
  1ère loi de Snell-Decartes :
  au pt I, on a une reflexion avec $i = -i' \Rightarrow |i| = |i'|$
* La refract : Changement de la direct en passant d'un milieu d'indice n_1 à n_2
  on a 2 cas :
  * 1er cas : $n_1 > n_2$ Snell Decartes
    $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r)$
    $\sin(r) = \frac{n_1}{n_2} \sin(i) > \sin(i)$ (car $n_1 > n_2$)
    $\Rightarrow r > i$

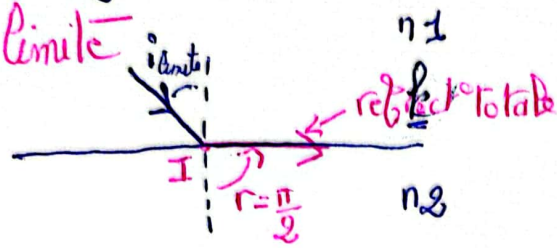
$\Rightarrow$ le rayon refracté s'éloigne de la normale

2ème cas $n_1 < n_2$

de m $r < i$ ⇒ le rayon réfracté se rapproche de la normale

⚠ les angle $i, r, i' \in [0, \frac{\pi}{2}]$

Angle limite



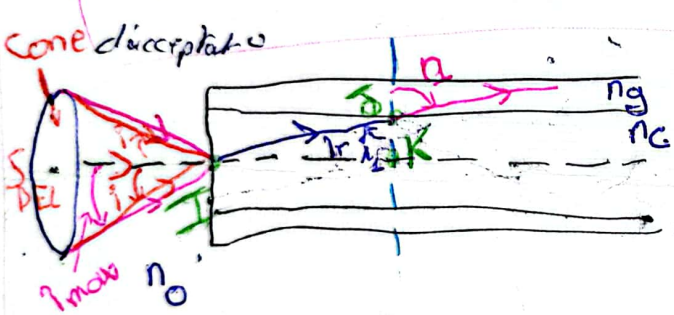
Au pt I on a

$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(r = \frac{\pi}{2})$

$\sin(i_{limite}) = \frac{n_2}{n_1}$ ⇒ $i_{limite} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$

⚠
- si $i < i_{limite}$ ⇒ Réfract° normale
- si $i > i_{limite}$ ⇒ Réflexion totale

Cone d'acceptance



Au pt J on a 2 cas :

- réfract° dans la gaine ssi $i_1 \leq i_{limite}$
- réflexion totale dans le coeur

Les conditions de guidage ssi $i_1 \geq i_{limite}$

$$\Rightarrow i_{1\,limite} = \arcsin\left(\frac{n_g}{n_c}\right) \quad //$$

- Dans le triangle IJK $r + i_1 + \frac{\pi}{2} = \pi$

$$r = \frac{\pi}{2} - i_1$$

- si $i_1 = i_{1\,limite}$ le rayon au pt J sera tgte à la surface de séparat°

si $i_1 \nearrow$ ⇒ $r \searrow$ ⇒ $i \searrow$

si $i_1 \searrow$ ⇒ $r \nearrow$ ⇒ $i \nearrow$

⇒ On définit

$ON = \sin i_{max}$

Au pt I on a

$n_0 \sin i = n_c \sin r$

$= n_c \sin(\frac{\pi}{2} - i_1)$

$n_0 \sin i = n_c \cos(i_1)$

⚠
- si $i_1 = i_{1\,limite}$ ⇒ $i = i_{max}$

$n_0 \sin(i_{max}) = n_c \cos(i_{1\,limite})$

or $\sin i_{1\,limite} = \frac{n_g}{n_c}$ | $\cos^2 + \sin^2 = 1$

⇒ $\cos(i_{1\,limite}) = \sqrt{1 - \sin^2(i_{1\,limite})}$

⇒ $n_0 \sin(i_{max}) = n_c \sqrt{1 - \sin^2(i_{1\,limite})}$

$= n_c \sqrt{1 - \left(\frac{n_g}{n_c}\right)^2}$

si $i_{max} = \sqrt{n_c^2 - \frac{n_g^2 \cdot n_c^2}{n_c^2}}$

$$\text{si } i_{max} = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

⚠ si $i < i_{max}$ ⇒ réflexion

↳ conditions de guidage

Pour qu'il y ait guidage dans la F.O il faut que le rayon subisse une réflexion tot au pt J

⇒ il faut que $i_1 > i_{1\,limite}$

- et on obtient $i_{1\,limite}$ pour $r = \frac{\pi}{2}$

Dispersion intermodale

élargissement impulsionnel, impulsionné

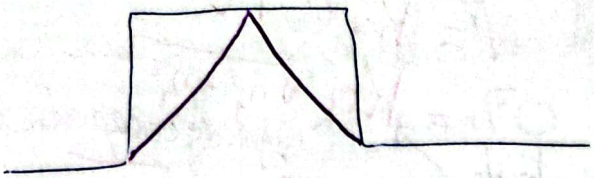
$$\Delta T = T_1 - T_0$$

$$= \frac{n_1 P}{c}\left(\frac{n_1 - n_2}{n_2}\right)$$

angle d'acceptance $i_c = i_{max}$.

Optique

Un FO à saut d'indice



Un FO à gradient d'indice



- Ecart relatif des indices

$$\Delta = \frac{n_2^2 - n_1^2}{2n_2^2} \simeq \frac{(n_2 - n_1)(n_2 + n_1)}{2n_2^2}$$

$n_1 \approx n_2$; $n_2 + n_1 \approx 2n_2$

$$\frac{n_2 - n_1}{n_2} \quad \frac{n_2 - n_c}{n_2} \quad \frac{n_1}{n_2} - 1 \quad 1 - \frac{n_1}{n_2}$$

saut d'indice

Dispersion inter

$$\Delta t_{inter} = \frac{L}{2C} \cdot \frac{ON^2}{n_1} = \frac{L n_1 \Delta}{C}$$

gradient indice

$$\Delta t_{inter} = \frac{L n_1 \Delta^2}{8C}$$

3.10^8 ; $\frac{n_1 L}{C}$; $\frac{n_2 - n_1}{n_2}$; n_c

- Atténuation linéique

$$A(dB/km) = \frac{1}{P} 10 \log\left(\frac{P_e}{P_s}\right)$$

dispersion

- intermodale : dûe à la diff de temps de transmission entre les modes
- chromatique : dûe à l'absorption et la diffusion de la lumière par le matériel constitutif du coeur.

$$ON^2 = n_1^2 - n_2^2 = 2n_1^2 \Delta$$

or $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$

$$\Delta = \frac{ON^2}{2n_1^2} \leftarrow n_c$$

d'où $\Delta t_{inter} = \frac{n_1 L}{C} \Delta$

$$\Delta t_{inter} = \frac{L \cdot ON^2}{2n_1 C}$$

⚠ Pour une F monomode

1 seul mode qui se propage ds le coeur → dispersion intermodale $\Delta t_{inter} = 0$

seul dispersion chromatique ⇒

- F multimode les 2 ⇒

$$\Delta t_{tot} = \Delta t_{inter} + \Delta t_{chro}$$

(Bande passante) $B = \frac{0{,}35}{\Delta t_{tot}}$ — débit $D = \frac{1}{\Delta t}$

↳ monomode $B = \frac{0{,}35}{\Delta t_{chro}}$

Kilométrique $B \times L = \frac{0{,}35}{L D(\lambda) \Delta\lambda}$

↳ multimode $B = \frac{0{,}35}{\Delta t_{tot}}$

E — R

$$P_R = P_e - \text{Epertes} + \text{Gain}$$

Bi Pan de liaison

Dispersion chromatique des matériaux

$$\Delta t_{chro} = L D(\lambda) \Delta\lambda$$

5/ $i_1 < i_m$

Fibre monomode

il faut que :

$$a \leq 1{,}20 \frac{\lambda}{\pi ON}$$

a : Rayon de coeur

$ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

Coeff de Dispersion

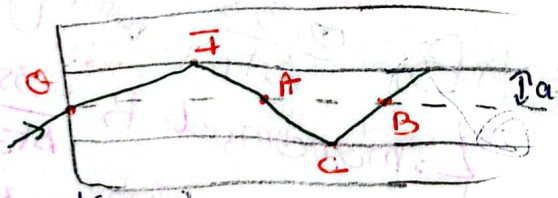
$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$

(n : indice de coeur)

Chemin optique

Rayon lumineux

$$[L] = n_c \times R$$



Temps de propagation

$$t = \frac{D}{V} = \frac{L n_c}{C}$$

- Pour que 2 impulsions ne se superposent pas à la sortie de FO, il faut que la durée $\Sigma > \Delta t_{inter}$

$$\text{Debit } D = \frac{1}{\Delta t}$$

La freq Normalisé

$$V = Ka\, ON$$

$$= Ka \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

(a : rayon de coeur)

cte de propagation $= \frac{2\pi}{\lambda} a n_1 \sqrt{2\Delta}$ ($\frac{2\pi}{\lambda}$: K)

$$= \frac{V}{ON}$$

Nbre de mode

- FO saut d'indice

$$M_s = \frac{V^2}{2}$$

- FO à gradient d'indice

$$M_g = \left(\frac{\alpha}{\alpha+2}\right) \frac{V^2}{8}$$

$\alpha = \infty \rightarrow$ saut d'indice

$\alpha = 1 \rightarrow$ profil triangulaire

$\alpha = 2 \rightarrow$ " parabolique

$\rightarrow M_g = \frac{V^2}{4}$

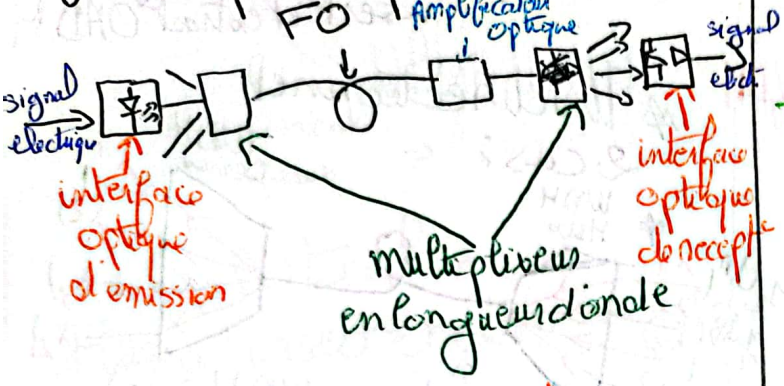
$0 < V \leq 2{,}405$

V_c : freq de coupure

Optique

Chap 4 : Système de transmission optique

I - Schéma Synoptique d'une chaine de liaison point à point sur FO



1 - Interface Optique d'émission TOSA Transmeter Optical Subassembly

- Transforme le signal électrique en signal optique.
- contient diode DEL ou DL

2 - Interface Optique de recept° ROSA Receiver Optical SA

- Convertie le signal optique en signal électrique
- contient photodiode.
- il y a ensuite circuit d'amplificat°, de filtrage. ⇒ transceiver

3 - Répéteurs

- lorsque la liaison de longueur >>

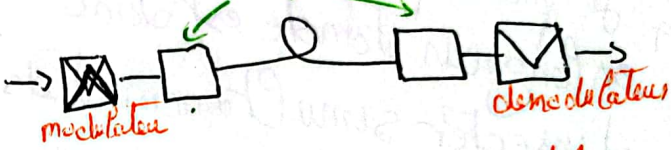
II - Raccordement des FO

3 méthode.

- Jointage : souder F.O entre elles
- Epissurage : coller les F.O //
- Connectorisable. Utilise 2 pièces mécanique

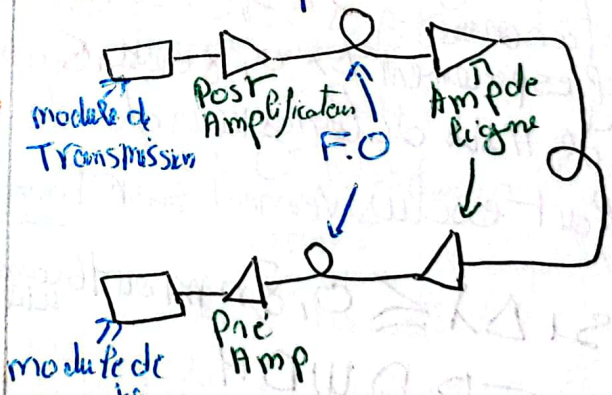
III - Type de liaison optique

1 - liaison point à point



2 - Liaison avec amplificateur optique EDFA

L'amplificateur optique peut avoir lieu en 3 pts d'une liaison :



- Post Amplificateur : pour ↗ la puissance de sortie et le budget de liaison
- Amp de ligne : ↘ (compense) l'atténuat° de signal et les pertes
- PréAmp ↗ sensibilité du recepteur et le budget de la liaison

Amplificateur EDFA
(Erbium Doped Fiber Amplifier)

Le milieu amplificateur dans EDFA est le coeur d'une FO monomode
$\lambda = 1500nm$

3 - Liaison multiplexée à WDH

- Le principe du multiplexage en longueur d'onde est donc d'injecter simultanément ds une FO plusieurs signaux numérique sur des longueurs d'ondes distincts



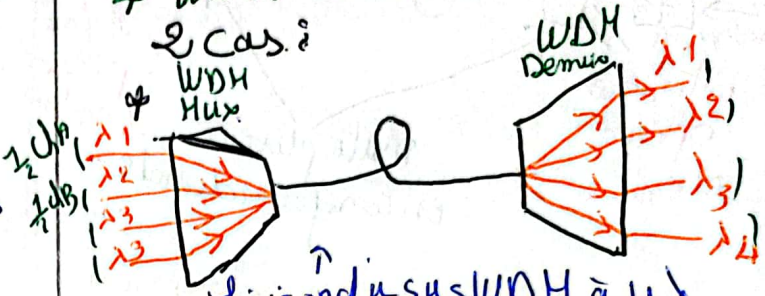
- La longueur d'ondes d'une fenetre à la norme = 1530 --> 1565nm et l'espacement $\Delta\lambda$ 0,8 ou 1,6 nm
- Le mux de longueur d'onde se fait exclusivement sur Fmonomode
- Si $\Delta\lambda \leq 0,8nm$ ou 16 canaux utilisé
  ⇒ DWDH (Dense Wavelength Division Multiplexing)
- à chaque Mux ou Demux il y a pertes d'insertion
  ↳ pour les ⇒ EDFA
- La technologie WDH nécessite un amplificateur tous les 50 à 100km

exple de configurat° d'un liaison WDH

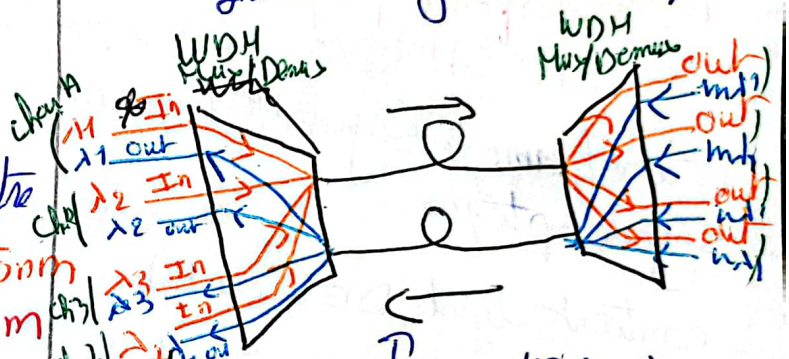
Ltype → Unidirectionnel
→ bidirectionnel
→ Universel
→ insert° et extract° OADM

Unidirectionnel

2 cas :

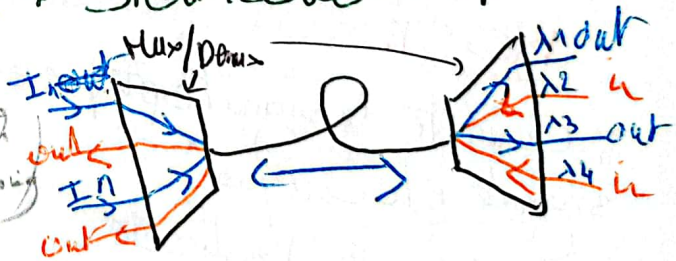


Liaison d'un sys WDH à 4 λ

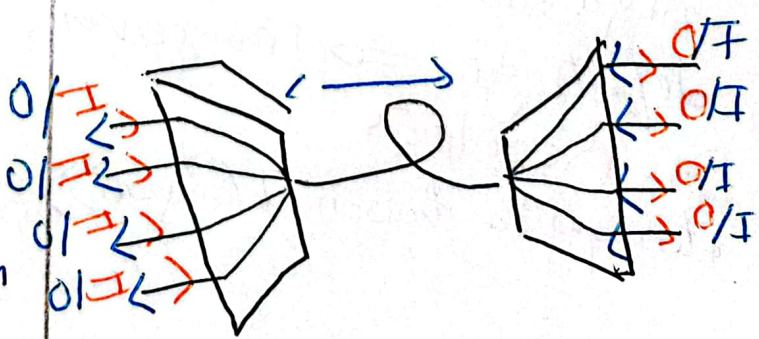


Liaison Mux/Demux

Bidirectionnel



Universel



Optique

WDM → CWDM (Coarse) $\Delta\lambda = 10nm$ (large)
→ DWDM (Dense) $\Delta\lambda = 0,8nm$
→ UltraWDM $\Delta\lambda = 0,2nm$

espacement entre signaux

* Cas Particuliers :

Mux a insertes tract° OADM
Optical ADD/Drop Mux

Permet d'extraire 1 ou plusieurs signaux à travers un flux de signaux multiplexé.
Sans risque de chevauchement des signaux

↑ WDM
↓ OTDM

4 - Liaison de multiplexage à OTDM

Optic Time Division Multiplex
↳ Mux de temps.

T_s : durée de symbole pour un flux de données individuel.

$B_s = \frac{1}{T_s}$: Taux de symbole



- Pour eviter le chevauchement il faut que

largeur des impulsion $< \frac{T_s}{2}$

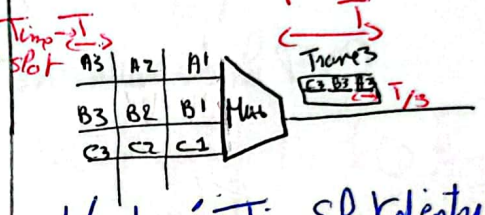
ceci et Taux de symbol Total $= 2B_s$

En general pour N canaux

T = largeur impulsion $< \frac{T_s}{N}$

$\Rightarrow$ Taux symbole NB_s

Debit $= \frac{Q}{Temp}$



1/ durée Time Slot d'entré

$T_s = \frac{Q}{D}$

2/ durée Time slot de sortie

$T_{s\,sortie} = \frac{T_s \text{ entré}}{N = 3 \text{ liaison}}$

3/ durée trame

$3 \times T_s$ sortie

4/ Taux binaire de sortie

$D = \frac{\text{Tsortie } Q \text{ 1 = 1 bit}}{T_s \text{ sortie}}$

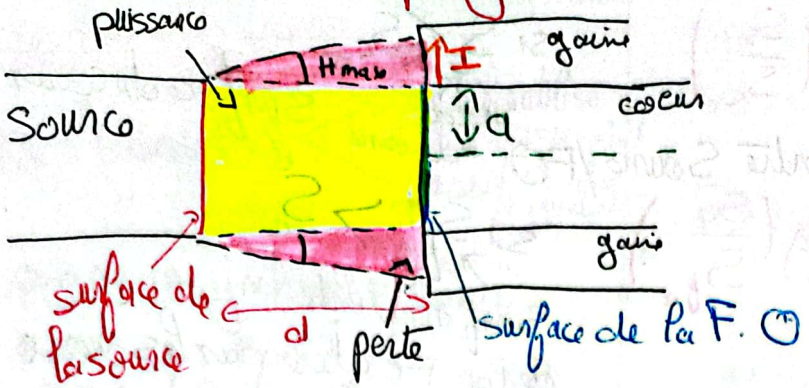
sans unité

$X(dB) = 10 \log_{10}(\bar{X})$

$X(dBm) = X(dB) - 30$

Optique

Pertes de couplage et Bilan de liaison:



} couplage source-Fibre soit θ_a angle d'acceptance.

1- Pertes de Fresnel

Facteur de réflexion: $R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2$

Perte de Fresnel: ← Ptransmise de la F.O

$P_R = 10 \log\left(\frac{P_{trans}}{P_{inc}}\right) = 10 \log(T) = 10 \log(1-R)$

↑ Puissance incidente est celle fournis par la source

↑ Rapport de Transmission $T = 1 - R$

2- Pertes dues au diagramme de rayonnement/ON de la FO

Intensité lumineuse: $I(\theta) = I(0) \cos^m(\theta)$ ← caractérise la directivité de la source

- m = 1 : DEL
- m = 10 à 20 : DL (Laser)

Puissance Couplée à la F multimode $P_{coup} = P_0 \cdot ON^2 \frac{m+1}{2}$

Perte couplage $P_{coup} = 10 \log(ON^2) + 10 \log\left(\frac{m+1}{2}\right)$

efficacité de couplage Fmonomode-source $\eta = \frac{ON^2}{n_0^2} = \sin^2(\theta_a) \Rightarrow \mu_c(dB) = 10 \log ON^2$ ← $\theta_a = \theta_{max}$

$n_0 = 1$ (indice de l'air)

$= 20 \log ON$

3 - Pertes dues aux surfaces

- Contact source / FO

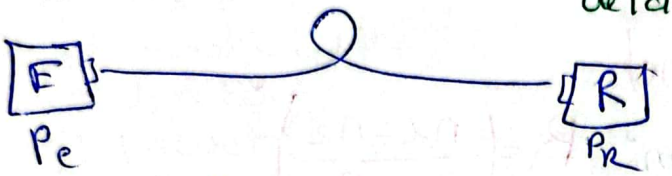
$$P_s = 10 \log\left(\frac{S_s}{S_c}\right)$$

si $S_s < S_c$; S_s : surface de source ; S_c : surface du coeur

- non contact entre Source / FO

$$P_s = 10 \log\left(\frac{S_c}{S_{f.e}}\right)$$

si $S_{f.e} > S_c$; $S_{f.e}$: surface d'entrée de la FO éclairé par la source



Bilan de liaison $P_R = P_e - \text{Epertes} + \text{Gain}$

Efficacité de couplage $\eta_c = ON^2$

$$\Delta\tau_{inter} = \frac{L n_1 \Delta}{c} = \frac{L ON^2}{2 n_1 c}$$

$\Delta\tau_{inter}$: durée d'un bit → $T_b = \frac{1}{R}$ il faut $\Delta\tau_{inter} < T_b$ pour que le choix de la FO soit réalisable

Atténuation totale due au couplage et aux pertes par absorption $B = \alpha L + |10 \log(\eta_c)|$

La liaison est vraie à condition de

$$P_{reçus} \geq P_{min}$$

Puissance moyenne couplée

$$P_{couplée} = 10 \log(\eta_c)$$

(η_c : pourcentage couplage 50% → 0,5 efficacité)

Optique

Chap 5 : Reseaux sur FO

1 - Les Rx optiques

Active Optical Network
AON

Les Rx à base de FO → actif : utilise alimentation (Repeteur)
→ passif : n'utilise pas d'alimentation
PON

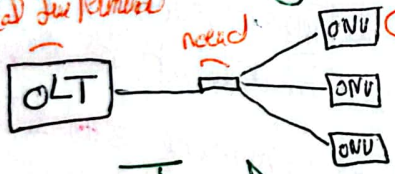
A-PON (Asynchronous PON)
Rx basé sur Rx ATM
B-PON (BroadBand PON)
extension de A PON
E-PON (Ethernet)
Technologie EFM
G-PON (Giga PON)

2 - Les topologies de base de PON

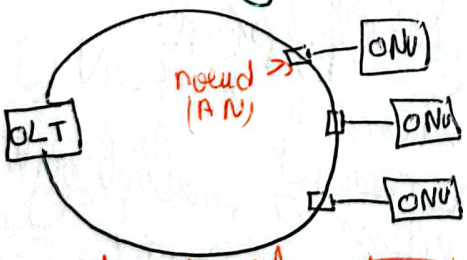
2 topologies principale → en arbre
→ anneau

Topologie d'arbre

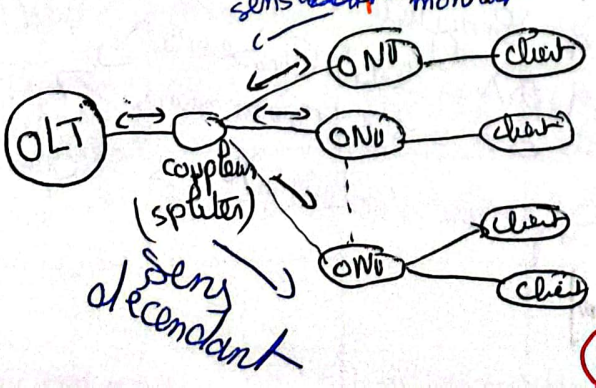
Optical Line Terminal — Optical Network Unit



Topologie en anneau



3 - Etudes des éléments d'un Rx Optique Passif PON



OLT (Optical Link Terminal)

c'est l'equipement maitre d'accès optique pour des client connecté au FTTx, il est placé au central

FTTx → FTTC (cité)
→ FTTB (Building)
→ FTTH (Home l'abonné)

ONT (Optical Network Terminal)

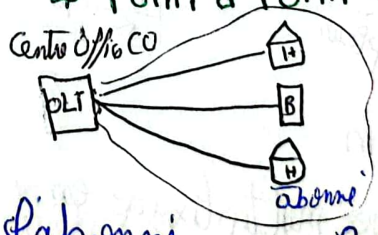
Composé d'un module, d'un emetteur optique (Laser) et un photorecepteur)

Coupleur / splitter

- Comme diviseur
- equipement passif / ne nécessite aucune alimentation
  - ds le sens → combine les signaux parasites
  - ds " → divise le signal optique venant de l'OLT

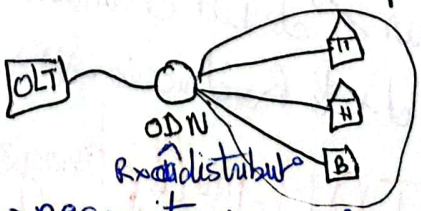
4 - Les architectures du Rx PON

Point à Point (P2P)



l'abonné a une BP ↗ ⇒ D ↗

Point à Multipoint (P2MP)

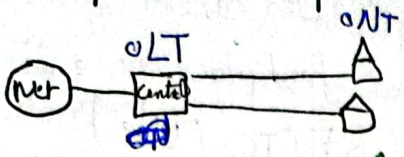


↳ necessite 1 ou plus répartiteurs
- le D ↘
- coût ↘

ONU : installé pour les abonnés
ONT : installé chez l'abonné avec FTTH

5- Architectures des Rx d'accès optique

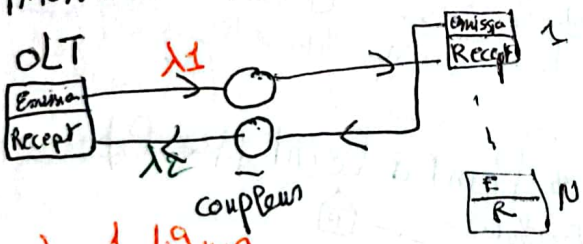
- Point à point



- Point à Multipoint passif: PON

GPON utilise multiplexage temporel (TDM) pour 32 ou 64 qui partagent un débit
2,5 Gbit/s le sens ↘
1,25 Gbit/s le sens ↗

Emetteur → Recepteur : descendant (Downlink)
Recepteur → Emetteur : ↗
Architecture PON Unidirectionnelle:



$\lambda_1 = 1,49\ \mu m$
$\lambda_2 = 1,3\ \mu m$

- PON avec multiplexage en longueur d'onde (WDM)

WDM pour ↗ débit et durée de partage des Rx d'accès.

WDM + TDM = multiplexage hybride

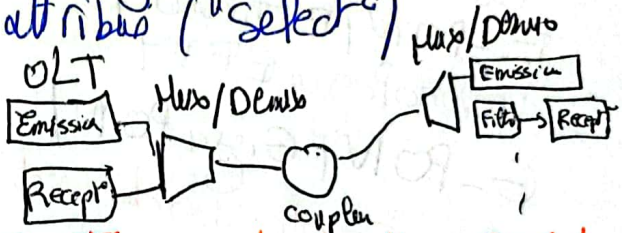
WDM → CWDM ($\Delta\lambda$ = 20nm)
→ DWDM ($\Delta\lambda$ = 0,8nm)
→ UltraDWDM ($\Delta\lambda$ = 0,2nm)

Technique PON WDM

en architecture
→ Broadcast and select
utilise coupleur
→ Mux/Demux spatial

Broadcast and select

- coupleur passif diffuse la longueur d'onde vers tous les ONU ("Broadcast")
- Un filtre chez le client select la longueur d'onde qui lui est attribué ("select")



6- Types de Rx d'accès PON et Normalisation

1- APON

- Protocole de transmission = ATM
- les données à haut débit, la voix la vidéo → acheminé sur 1 FO
- Relie jusqu'à 32 abonnés
- f de raie 53 Ø

2- BPON

- extension de APON
- Ethernet
- vitesse ↗, multiplexage WDM

APON et BPON

- 32 ONU
- longueur FO → 20 Km
- $\Delta\lambda$ = 1490 nm sens ↘
  $\Delta\lambda$ = 1310 nm sens ↗
- pour vidéo λ = 1550 nm

optique

3- EPON

- topologie P2MP
- Protocole de Control Multipoint MPCP
- chaque ONU a un MPCP qui communique avec MPCP de l'OLT
- données transmise des paquet de longueur jusqu'à 1518 (Ethernet)

4 - GPON

- Protocole GFP (Generic Framing Procedure)
  - ↳ de Mux
- transmis les paquets en se basant sur des ≠ protocole (ATM, IP)

Comparaison

	APON	BPON	EPON	GPON
Protocole	ATM	ATM	Ethernet CSMA/CD	GEM (ATM, Ethernet TDM)
λ ↗ ↘	1310/1490nm	//	//	//
Debit ↓	155Mbit/s 622 Mbit/s	//	1,25Gb/s 10Gb/s	2,5Gb/s
Debit ↗	155Mb/s	//	//	1,25Gb/s
Taux de partage (nombre d'usagers)	16→32	16→32	16,32 64	16,32 64,128
Distance OLT/ONT	10ou 20Km	10/20Km	20	20

Optique

Chap6: Comm Optique et Hauts debits

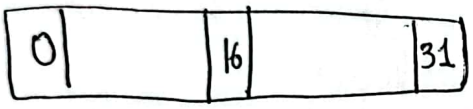
Infrastructures de Transport

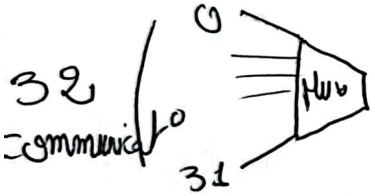
1 - PDH: Plesiochronous Digital Hierachy Norme Européen

Trame MIC "Modulation par Impulsion et Codage"

B signal Sonore = [300 - 3400 Hz]

- $f_e = 8000 Hz$
- durée Trame MIC $= \frac{1}{f_e} = \frac{1}{8000} = 125 \mu s$
- $D = \frac{8}{125 \mu s} = 64 Kbit/s$ (1 ϕ = 1 octet = 8 bits)



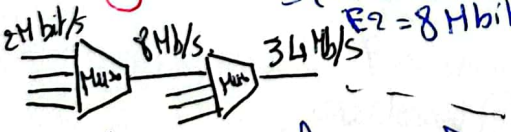


32 communications

0 : Faurion
16 : Synchronisation

$\Rightarrow 32 - 2 = 30$ voies Telephonique

- Nb données (MIC) $= 8 \times 32 = 256 bit$
- Dglobal (MIC) $= 64 Kbit \times 32$
  D(E1) $= 2048 Kbit/s$



Le PDH fct sur cable coaxial ou faisceau Hertzien

☹ pour inserer ou retirer un msg il faut demux le train numerique puis le mux à nouveau

2 - SONET (Synchronous Optical Network)

Norme américaine

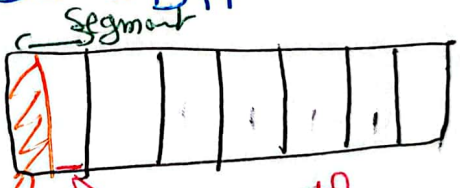
☺
- permet cnx Universelle
- Unifie les sys europ Americain Japonais
- ne necessite pas mux/demux (comme PDH)

Trame SONET : reproduit 8000 fois par seconde et Transporte 810 ϕ



Debit (STS-N) $= \frac{N \times 9 \times (3 + 87) \times 8}{125 \mu s}$

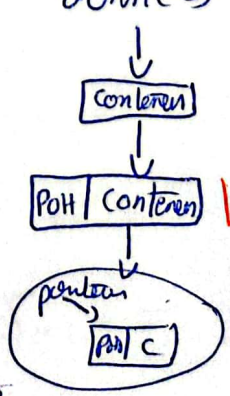
3 - SDH



Cas general

$$Débit (STM-N) = \frac{N \times 9 \times (9 + 261) \times 8}{125 \mu s}$$

(N° de trame, nbre de segment, ϕ entete, ϕ charge, en ϕ)



Utilise Fibre Optique SONET

Type de mux

→ Temporel (signal num)
(Teff

→ Freq (sig Analogique

STS-3 = ~~3~~ STM-1
3 · STS-1

Chap 2 : Emetteur / Récepteur

Bruit d'obscurité

$$I_{n-d} = \sqrt{2 q I_s B_{BP}}$$

I_{n-d} : courant d'obscurité ; $q = 1{,}6.10^{-19}$; I_s : courant de saturation

Bruit de grenaille

$$I_{n-s} = \sqrt{2 q I_{ph} B}$$

I_{ph} : signal photo-courant

Bruit de Johnson Thermique

$(T° + 273)$ température Kelvin

$$I_{n-j} = \sqrt{\frac{4 K T B}{R_{sh}}}$$

$K = 1{,}38.10^{-23}\ J K^{-1}$; R_{sh} : Résistance de dérivation (shunt)

$$\Rightarrow SNR = \frac{I_{ph}^2}{I_{n-d}^2 + I_{n-s}^2 + I_{n-j}^2}$$

RQ si $I_{ph} >>$

$$SNR = \frac{I_{ph}^2}{I_{n-s}^2}$$

$X \rightarrow X(dB) = 10 \log(X)$

Bruit de courant estimé d'une photodiode APD

$$I_{n-APD} = \left[2 q (I_s + I_{ph}) H^2 F B \right]^{1/2}$$

H^2 : bruit d'accès ; F : Facteur de bruit d'accès

Bruit à la sortie

$$\sqrt{I_{n-d}^2 + I_{n-j}^2 + I_{n-s}^2 + I_{NEP}}$$

Bruit lié au NEP

$NEP \cdot S \sqrt{B}$

$$I_{n-j} = \sqrt{\frac{4 K \hat{T} B}{R_{sh}}} \quad \hat{T} = 273$$