



Institut Supérieur des Etudes Technologiques en
Communications de Tunis

Cours Réseau d'accès optique

Enseignant : HICHEM MRABET

Année universitaire 2010-2011

Sommaire

I. Introduction	3
II. Les techniques de multiplexage optiques	3
1. La technique OTDMA	4
2. La technique WDMA	4
3. La technique OCDMA	5
III. Les réseaux optiques	6
1. Les réseaux longs distances	6
2. Les réseaux métropolitains	6
3. Les réseaux locaux	7
a) Fibre to the Home/ Fibre to the Office	7
b) Fiber to the Building	7
c) Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet	8
4. Les réseaux optiques passifs	8
a) OLT	10
b) ONU	12
c) Coupleur optique	13
d) Fibre optique des réseaux PON	14
e) Laser Fabry Péro	17
f) Laser DFB	18
g) Caractéristique d'une photodiode	20
IV. Les différentes normes des réseaux FTTH	20
1. La norme APON	20
2. La norme BPON	24
3. La norme EPON	25
4. La norme GPON	26
5. Tableau récapitulatif	28
V. Conception d'une liaison optique	29
1. Bilan de liaison optique	29
2. Portée d'une liaison optique	29
3. Bande passante d'une liaison optique	30
VI. Conclusion	30

I. Introduction

De nos jours, la vulgarisation de l'Internet, la fourniture des services avec une bonne qualité(QoS), la forte demande de la Télévision haute définition (TV HD), le besoin du partage des données multimédia entre les utilisateurs des quatre coins du monde ont poussé les opérateurs de télécommunications et les fournisseurs d'accès à Internet(FAI) a déployé les réseaux d'accès optiques qui exploite les fibres optiques.

Trois solutions sont possibles pour raccorder un abonné en fibre optique:

- Réseau Ethernet en point à point: chaque utilisateur est relié au réseau via le nœud de raccordement d'abonné par une fibre optique dédiée,
- Réseau en point à multipoint connu sous le nom du réseau optique passif(PON): Les liens optiques sont partagés entre plusieurs abonnés par une série de coupleurs passifs en cascade,
- Réseau optique actif : qui met en œuvre des équipements soit au niveau de l'immeuble (point de concentration), soit à celui d'un répartiteur de rue (sous-répartiteur).

Dans ce cours on va mettre l'accent sur la normalisation du réseau optique passif(PON) par l'instance suprême des télécommunications, à savoir, l'union internationale des télécommunications (ITU-T).

Ce cours, est formé par quatre parties. Tout d'abord on va mettre en revue les différentes techniques de multiplexage optiques. La deuxième partie traite les réseaux optiques en l'occurrence les réseaux WAN, MAN et LAN. La troisième partie décrit les différentes normes des réseaux FTTH, à savoir, la norme APON, la norme BPON, la norme EPON et la norme GPON. Enfin, la dernière partie concerne la conception d'une liaison optique en matière de bilan de liaison, portée de liaison et bande passante d'un système PON.

II. Les techniques de multiplexage optiques

La fibre optique offre une énorme largeur de bande pour effectuer les opérations d'accès multiples, permettant à plusieurs utilisateurs de communiquer simultanément. Parmi les techniques présentées précédemment, les techniques TDMA et FDMA sont largement déployées dans les réseaux optiques. Les techniques d'accès multiples dans les systèmes de

communications optiques peuvent être classées en trois familles [1], à savoir, l'accès multiple par répartition temporelle en optique (OTDMA), l'accès multiple par répartition en longueurs d'ondes (WDMA) et l'accès multiple par répartition de codes en optique (OCDMA).

La figure 1 représente les trois systèmes d'accès multiple dans le domaine optique qu'on va détailler dans la section suivante.

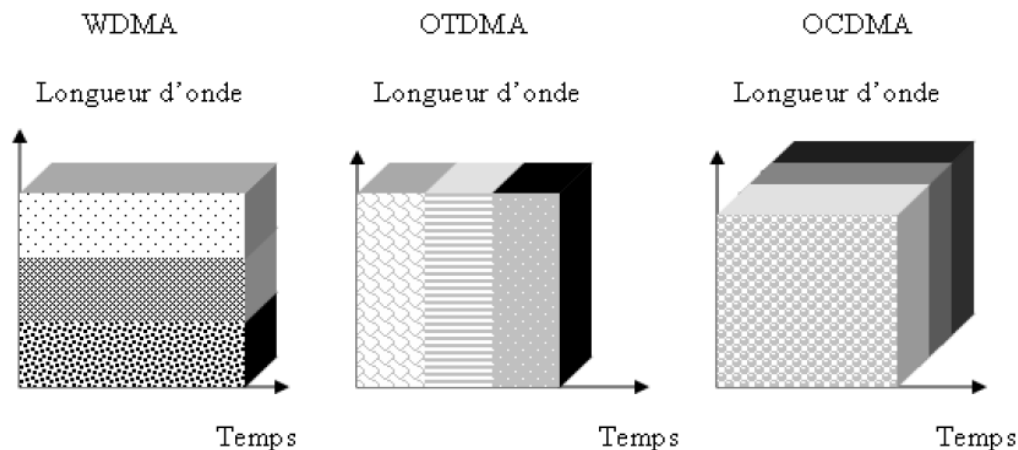


Figure 1. Les systèmes d'accès multiple dans le domaine optique.

1. La technique OTDMA

La technique OTDMA consiste à multiplexer en temps des trains d'impulsions optiques de manière purement optique. Le système OTDMA est constitué à l'émission d'une source laser qui émet des impulsions optiques de durée T_c (appelé aussi temps chip). Ces impulsions sont appliquées à l'entrée d'un modulateur optique, commandé par un signal électrique de durée T_b (appelé aussi temps bit) qui représente les données à transmettre d'un utilisateur.

2. La technique WDMA

C'est une transposition du multiplexage en fréquence dans les systèmes de communications optiques. Dans un système WDMA les séquences de données modulent plusieurs lasers de longueurs d'ondes différentes. Les résultats de ces modulations sont transmis sur une même fibre optique par l'intermédiaire d'un multiplexeur WDM. Pour recouvrer les données émises, un filtre optique permet, en réception, la sélection de la longueur d'onde correspondant au signal à reconstituer. La figure 2 illustre le fonctionnement d'un tel système.

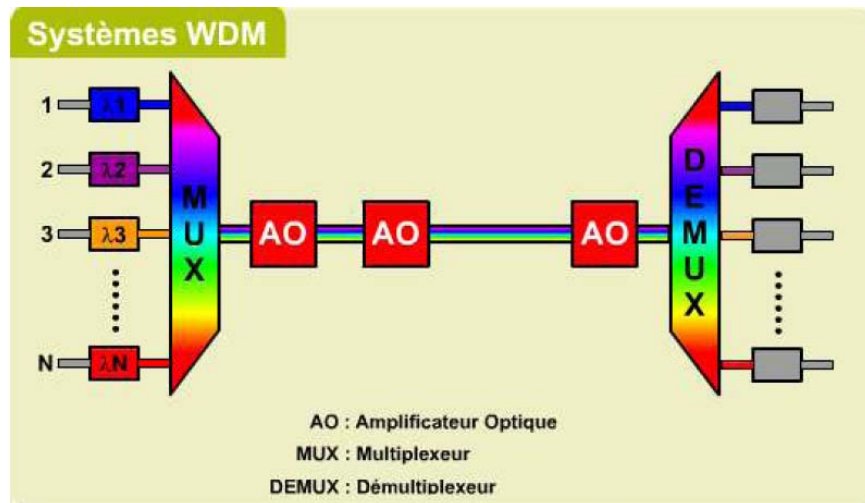


Figure 2. La technique d'accès WDMA.

La plage normalisée des longueurs d'ondes selon la recommandation G.692 de ITU-T est comprise entre 1530 et 1565nm avec un espacement de 1,6nm ou 0,8nm [2].

L'évolution de la technique WDM est appelée DWDM (« Dense » WDM). L'espacement devient alors inférieur à 0,8nm (0,4nm ; 0,2nm) et permet d'obtenir plus de longueurs d'ondes. La technique DWDM est utilisée dans les liaisons optiques transatlantiques, on cite parmi ces systèmes TAT-14 (2001), TYCOM (2001) et APOLLO (2002).

3. La technique OCDMA

La figure 3 représente un réseau en étoile employant la technique CDMA optique. Les données ainsi que l'opération du codage/décodage peuvent être effectuées soit dans le domaine électrique, soit dans le domaine optique. La séquence est couplée avec l'ensemble des autres séquences venant des autres utilisateurs du système dans un coupleur en étoile, via une fibre optique. Côté récepteur, la totalité des signaux couplés est comparée au code correspondant à un émetteur donné (corrélation) et une détection à seuil qui détermine si un bit « 1 » ou « 0 » est identifié.

L'adressage se fait de manière implicite dans le codage, puisque l'ensemble des récepteurs reçoit le message (broadcast) et seul le récepteur concerné possède la signature qui lui permet d'accéder à la donnée qui lui est destinée.

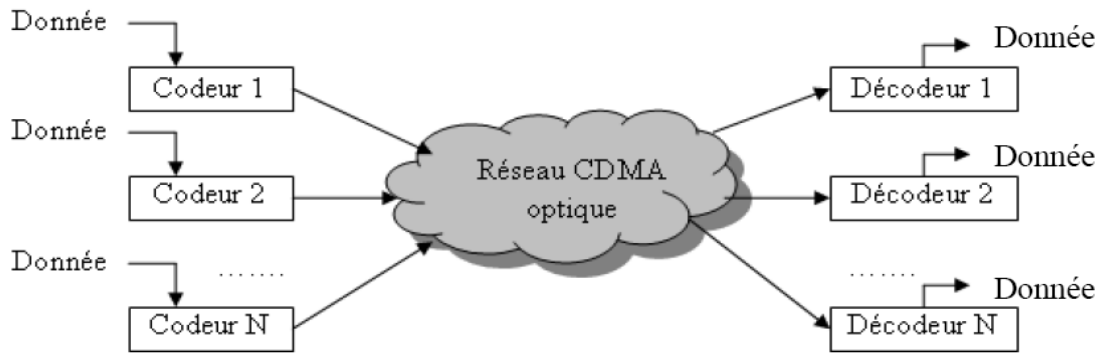


Figure 3. La technique d'accès OCDMA.

Deux approches de détection pour une chaîne tout optique. D'une part, la détection cohérente qui utilise des codes bipolaires orthogonaux (séquence PseudoNoise, Séquence de Gold, etc.). Celle-ci n'est pas utilisée dans la communication optique pour une raison de difficulté à préserver la phase du signal durant la transmission à travers un canal optique.

D'autre part, la détection non cohérente qui utilise des codes optiques spéciaux même s'ils ne sont pas strictement orthogonaux. On utilise des séquences unipolaires comme des mots code pour l'étalement de spectre et la modulation. De nouvelles classes de codes optiques unipolaires sont alors proposées, à savoir, les codes optiques orthogonaux (OOC) ou les séquences de codes premiers (PC) sont les plus connus dans la littérature.

III. Les réseaux optiques

1. Les réseaux longs distances

Les réseaux longs distances pouvant aller jusqu'à 1000km. La transmission sur fibre optique à une longueur 1.55μm et un débit de 2.5, 10 et même 40Gbits/s. L'utilisation des amplificateurs et de régénérateurs peut augmenter la distance de transmission.

2. Les réseaux métropolitains

Ils sont appelés aussi réseaux intermédiaires. Ces réseaux sont constitués d'anneaux de 80 à 150km de circonférence avec 6 à 8 nœuds. Elles doivent prendre en charge les formats, les protocoles et les débits de transmission.

Ils sont souvent équipés de carte transpondeuse multi-débit de 100Mbits/s et même 10Gbits/s.

3. Les réseaux locaux

Le réseau local comprend tout ce qui est situé entre le réseau métropolitain et le terminal de l'abonné. Sa longueur varie de 2 à 50km.

Le réseau local optique est souvent constitué par une partie en fibre optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'à le terminal de l'abonné.

Plusieurs configurations pour raccorder les utilisateurs à la fibre optique sont définies: appelées aussi FTTx. Selon la localisation de la terminaison de réseau optique, on cite les configurations les plus répandues :

a) Fibre to the Home/ Fibre to the Office

La terminaison du réseau optique, propre à un abonné est implantée dans ces locaux. La fibre optique va donc jusqu'au domicile ou au bureau (débit jusqu'à 1Gbits/s). Cette configuration est appelée FTTH ou FTTO.



Figure 4. Structure d'un réseau FTTH/FTTO.

La figure 4 représente les différents composants d'un réseau FTTH/FTTO.

b) Fiber to the Building

La terminaison optique est localisée soit au pied de l'immeuble, soit dans un local technique, soit dans une armoire ou un conduit sur le palier. Elle est généralement partagée entre plusieurs abonnés qui lui sont raccordés par des liaisons en fil de cuivre. Cette configuration est appelée aussi FTTB.

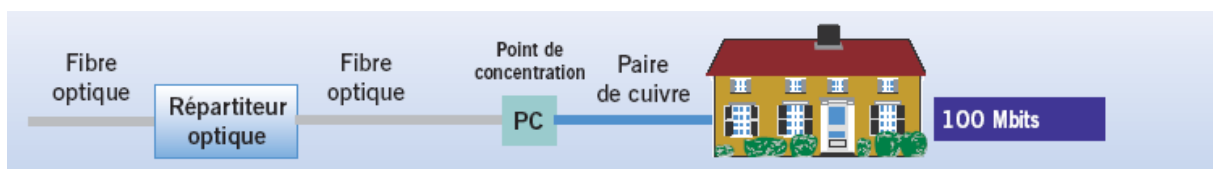


Figure 5. Structure d'un réseau FTTB.

La figure 5 représente la structure d'un réseau FTTB.

c) Fiber to the Curb /fiber to the Cabinet

La terminaison du réseau optique est localisée soit dans une chambre souterraine, soit dans une armoire sur la voie publique (sous répartiteur), soit dans un centre de télécommunication, soit sur un poteau. Dans le cas où la fibre arrive jusqu'au trottoir, on appelle cette configuration Fiber to the Curb (FTTC). D'autre part, si elle arrive jusqu'au sous répartiteur, on appelle cette configuration Fiber to the Cabinet (FTTCab).

Selon le cas, il est envisagé de réutiliser le réseau terminal en cuivre existant ou de mettre en œuvre une distribution terminale par voie radioélectrique.



Figure 6. Structure d'un réseau FTTC/FTTCab.

La figure 6 représente les différents composants d'un réseau FTTC/FTTCab.

4. Les réseaux optiques passifs

Un réseau optique passif (PON) est un réseau dont le câblage entre le prestataire et le consommateur est uniquement réalisé à base d'équipements optiques passifs. En effets, cette approche évite le besoin de courant électrique entre le nœud central de distribution et l'abonné, et réduire les couts de matériels, d'installation, d'opération et d'entretien de réseau. Ils divisent le signal d'un émetteur central(OLT), sur plusieurs fibres optiques sortantes n'utilisant que des composants passifs (coupleurs passifs), chacune est liée à un récepteur spécifique pour un client spécifique.

Dans un réseau PON, on utilise la fibre optique monomode comme défini par l'ITU-T et par l'IEEE, dans un réseau PON, le trafic descendant et le trafic montant sont envoyés sur deux longueurs d'onde différentes (figure 7).

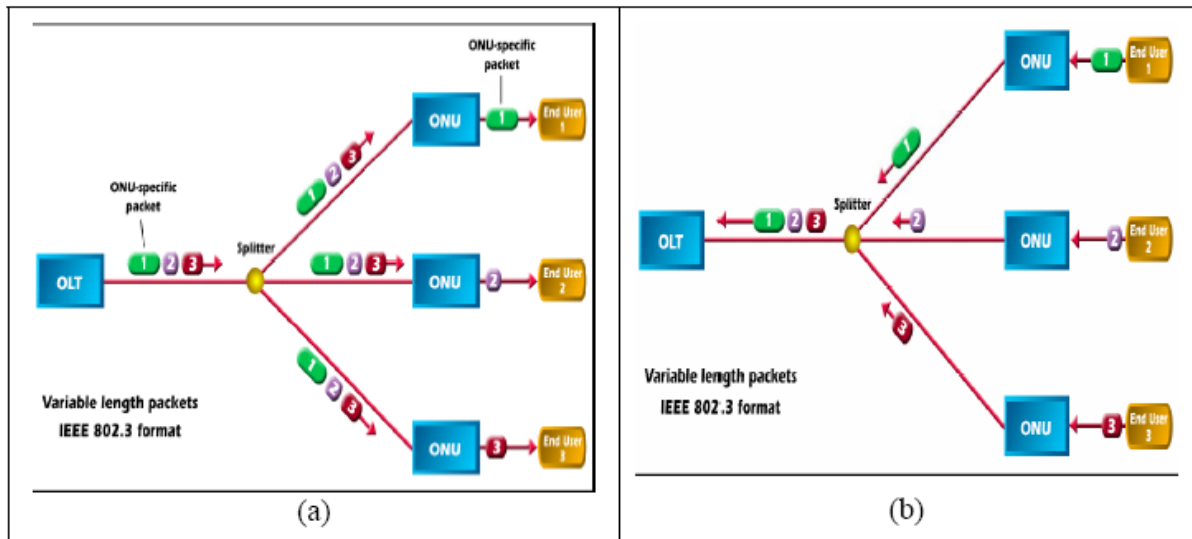


Figure 7. Architecture de réseau point-multipoint(a) sens descendant (b) sens montant.

Dans un réseau PON pour assurer la connexion d'un nombre important d'abonné les opérateurs utilisent la configuration des coupleurs optiques en cascade comme elle est décrite par la figure 8.

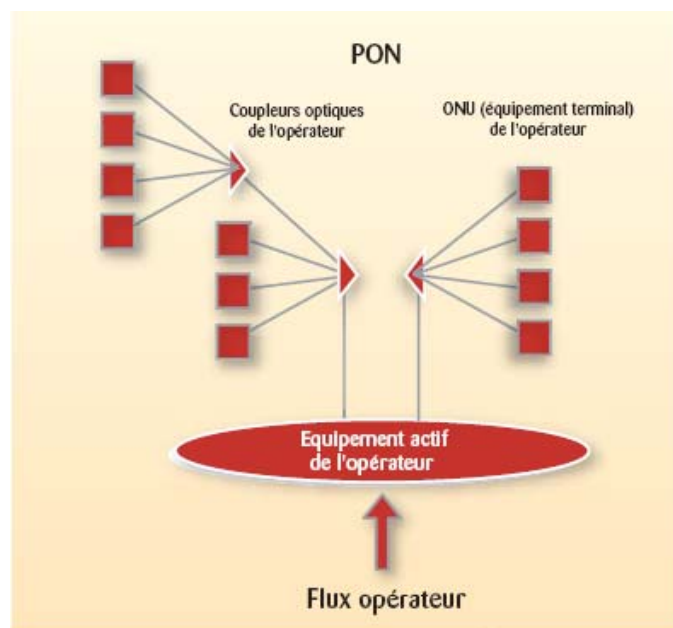


Figure 8. Réseau PON utilisant des coupleurs en cascade.

Un réseau PON est composé par un terminal de ligne optique appelé OLT (Optical Line Terminal), une fibre optique monomode, un coupleur optique passif et une unité de réseau optique appelé ONU (Optical Network Unit).

a) OLT

Le terminal de ligne optique est un outil qui se sert comme le point terminal du fournisseur de service du réseau PON. L'OLT assure les fonctions suivantes:

- La conversion du signal électrique au signal optique utilisé par l'équipement du fournisseur de service et la conversion du signal optique au signal électrique fournit par le réseau PON,
- La coordination de multiplexage entre les différentes unités ONUs,
- Le contrôle de la bande passante,
- Le contrôle de flux et des VLANs.

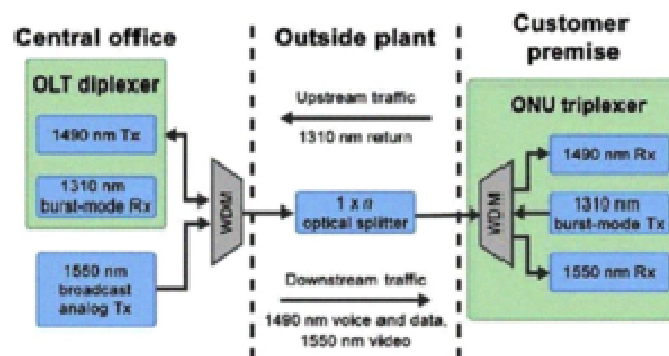


Figure 9. Structure de l'OLT et l'ONU.

Comme il est démontré par la figure 9, l'OLT est capable de combiner plusieurs signaux, à savoir, le broadcastTV (1550nm), le signal téléphonique (1490nm) et les données (1310nm) à travers une seule fibre optique [3].

L'OLT assure une interface optique vers le réseau de distribution optique (ODN) et assure au moins une interface de réseau coté réseau de l'OAN (Optical Access Network). Un OAN est défini comme étant un ensemble de liaisons d'accès qui partagent les mêmes interfaces cotés réseau et prises en charge par les systèmes de transmission d'accès optique. L'OAN peut inclure un certain nombre d'ODN relié au même OLT.

Un ODN procure les moyens de transmission optique de l'OLT vers les usagers et vice versa et Il utilise des composants passifs.

L'OLT peut être situé dans commutateur local ou un emplacement distant. Il comporte les moyens nécessaires pour assurer différents services aux ONU concernées. Le schéma fonctionnel de l'OLT est représenté par la figure 10.

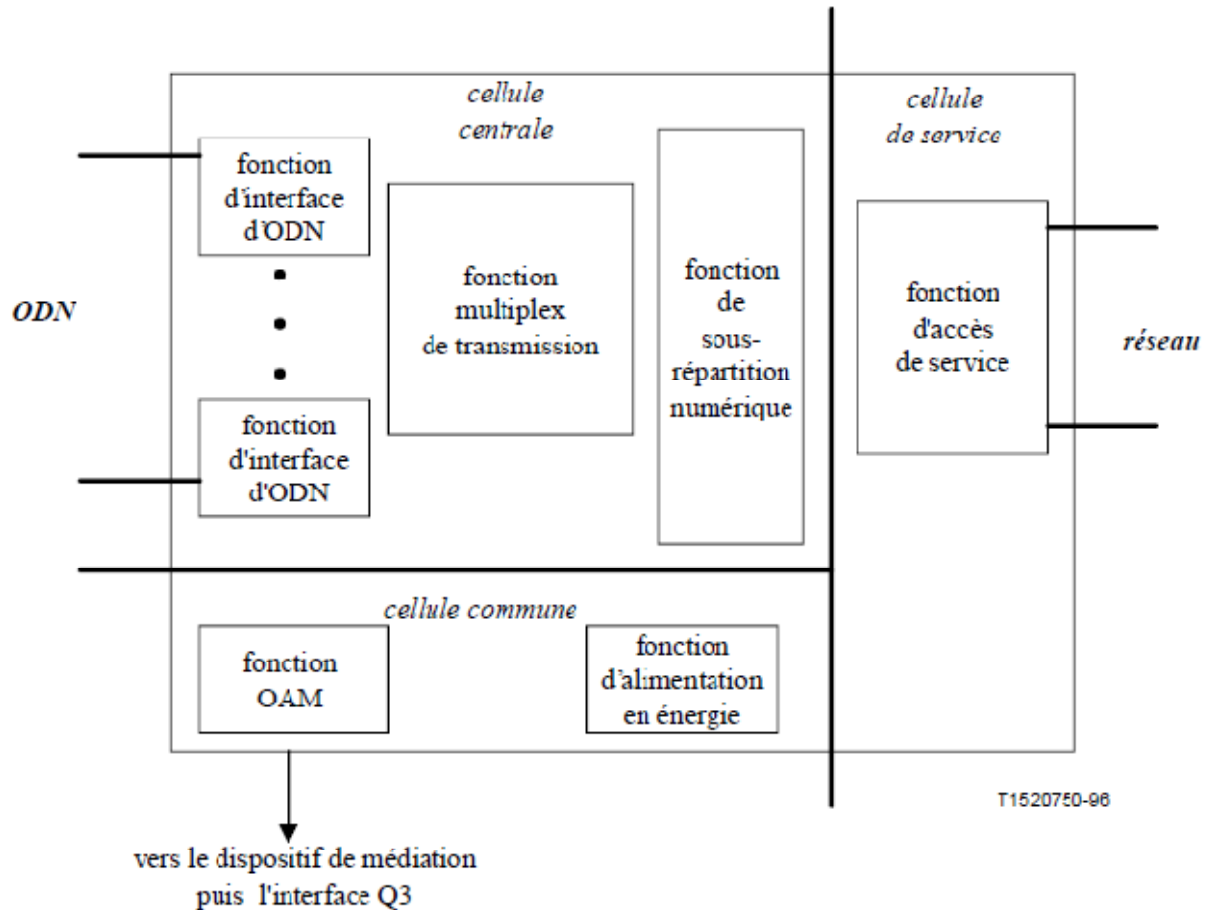


Figure 10. Bloc fonctionnel de l'OLT selon la spécification G.982.

D'après la figure 10, le bloc fonctionnel de l'OLT selon la spécification de la norme de l'ITU-T G.982, comprend trois cellules, en l'occurrence, la cellule centrale, la cellule de service et la cellule commune.

La cellule centrale est formée par des blocs qui assurent des fonctions d'interface ODN, un bloc qui traite une fonction multiplex de transmission et un bloc qui garantit une fonction de sous répartition numérique. D'autre part, la cellule de service présente une fonction d'accès de service. Enfin, la cellule commune assure deux fonctions, à savoir une fonction d'alimentation en énergie et une fonction OAM (Operation, Administration and Maintenance). La fonction OAM fournit le moyen d'assurer les fonctions d'exploitation, de gestion et de maintenance pour tous les blocs de l'OLT.

Le module optique de l'OLT est composé par un laser DBF (Distributed Feedback Laser) à 1490nm, un filtre WDM et une Photodiode APD.

b) ONU

L'unité optique du réseau(ONU) convertie les signaux optiques transmis à travers la fibre en des signaux électriques. Ces signaux électriques sont ensuite envoyés aux abonnés individuels.

L'ONU assure les fonctions de conversion du signal optique en un signal électrique et l'émission des données des abonnés.

L'ONU assure une interface optique vers l'ODN et implémente les interfaces côté usager de l'OAN. Les ONU doivent être situées dans les locaux des usagers (FTTH, FTTO et FTTB) ou à l'extérieur (FTTC). L'ONU fournit les moyens nécessaires pour assurer les différents services qui doivent être traités par le système. Le schéma fonctionnel de l'ONU est représenté par la figure 11.

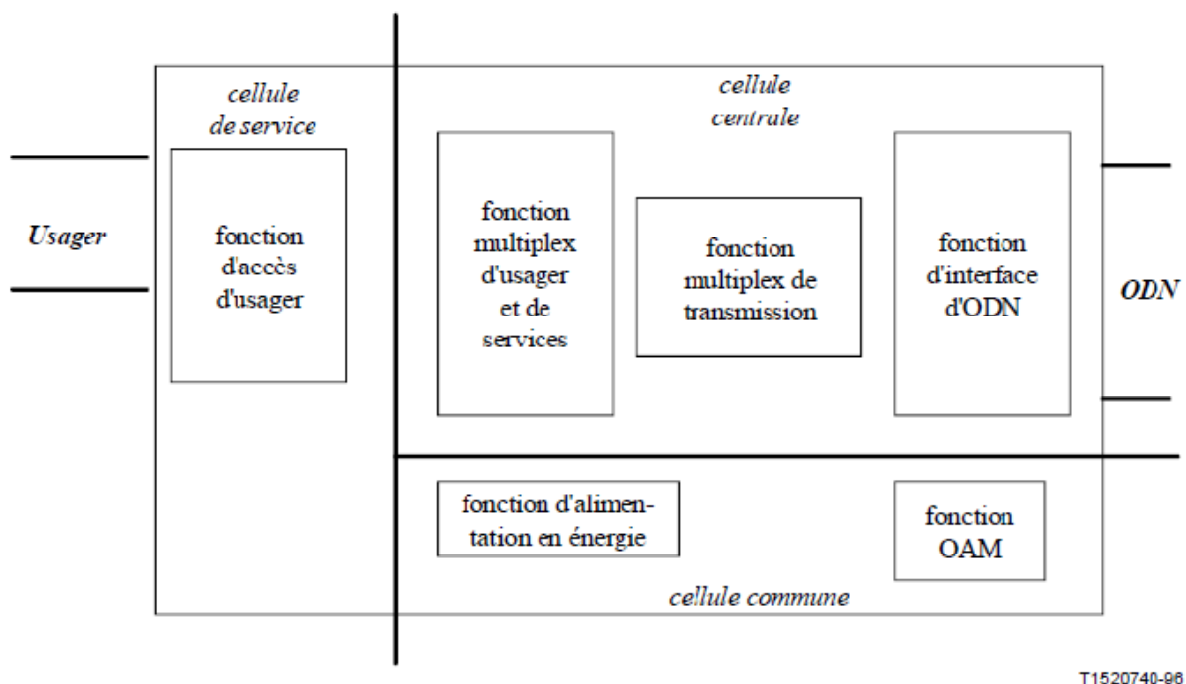


Figure 11. Bloc fonctionnel de l'ONU selon la spécification G.982.

D'après la figure 11, le bloc fonctionnel de l'ONU selon la spécification de la norme de l'ITU-T G.982, comprend trois cellules, en l'occurrence, la cellule centrale, la cellule de service et la cellule commune. La cellule centrale est formée par des blocs qui assurent des fonctions

d'interface ODN, un bloc qui traite une fonction multiplex de transmission et un bloc qui garantit une fonction de multiplex d'utilisateur et de services. D'autre part, la cellule de service présente une fonction d'accès d'utilisateur. Enfin, la cellule commune assure deux fonctions, à savoir une fonction d'alimentation en énergie et une fonction OAM (Operation, Administration and Maintenance). La fonction OAM côté ONU permet de garantir les fonctions d'exploitation, de gestion et de maintenance pour tous les blocs de l'ONU (par exemple commande des boucles dans les différents blocs).

Le module optique de l'ONU est composé par un laser Fabry Péroต์ opérant à 1310nm, un filtre WDM et un photorécepteur PIN.

c) Coupleur optique

Un coupleur optique est un outil passif qui divise une puissance optique apportée par une fibre en entrée sur plusieurs fibres optiques en sorties. Un composant est dit passif si son fonctionnement est constant dans le temps, et ne nécessite pas de signal (électrique ou optique) de commande.

Un coupleur optique est caractérisé par une perte d'insertion, due à l'imperfection du composant, définie par [4]:

$$p_e = 10 \log \frac{P_{Ei}}{\sum P_{Si}} (dB)$$

Qui correspond à la part de puissance entrante qu'on ne retrouve sur aucune sortie. Où P_{Ei} est la puissance entrant par i et P_{Si} la puissance sortant en j .

Les pertes d'insertion d'un coupleur optique varient selon le taux de partage :

	THEORIQUE EN DB	PRATIQUE EN DB
1->2	3	3.5
1->32	12	16.6
1->64	15	20

On distingue deux familles de coupleurs optiques à savoir :

- Coupleurs optiques de technologie de fibre : ce type de coupleur est obtenu par fusion des cœurs de deux fibres. Le coupleur se fait par onde évanescence de la lumière dans chaque guide. La figure 12 représente un coupleur optique de technologie de fibre 1->2[5].

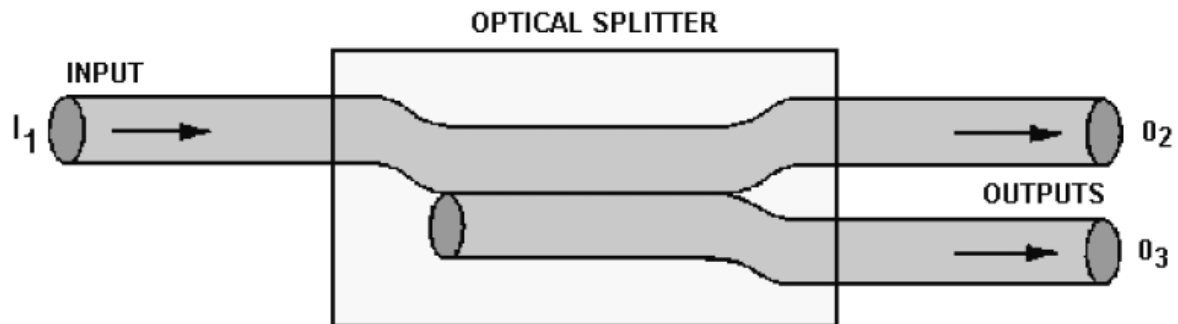


Figure 12. Coupleur optique à technologie de fibre.

- Coupleur optique de technologie intégrée : ces coupleurs sont fabriqués par juxtaposition de deux guides planaires dans du verre ou du SiO_2/Si . L'avantage de ce type de coupleur est qu'il permet la miniaturisation ainsi que de faibles coûts pour de grand volume de production.

d) Fibre optique des réseaux PON

La transmission des données dans un réseau PON se fait par des fibres optiques monomode G.652, qui est une fibre à dispersion non décalée (dispersion chromatique presque nulle à 1300nm) et ayant une insensibilité aux faibles rayons de courbure.

L'UIT-T a dans un premier temps normalisé la fibre monomode G.652 qui compte plus de 80 millions de Km de fibres installées dans le monde, puis la fibre monomode G.653 (fibre à dispersion décalée, notamment utilisée dans les câbles sous-marins).

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des normes de la fibre optique monomode (G.65x).

Type de fibre monomode :	G 652	G 653	G 655	G 657
Année de mise en service	1983	1985	1994	2005
Longueur d'onde de coupure en nm	1310	1550	1550	1260 - 1625
Affaiblissement 1285 - 1330 nm en dB/km	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,35
Affaiblissement 1550 nm en dB/Km	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,21
Dispersion chromatique 1285 - 1330 en ps/nm.km	< 3,5	< 23	< 23	< 3,5
Dispersion chromatique 1550 nm en ps/nm.km	< 19	< 3,5	< 3,5	< 18
Dispersion du mode de polarisation en ps/km p1/2	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2
Longueur d'onde de coupure en câble	1150 / 1280	1050 / 1350	1450	1260

La norme G.652 définit 4 catégories de fibres optiques utilisées dans les systèmes optiques terrestres à savoir, G.652.A, G.652.B, G.652.C et G.652.D. Ces catégories sont distinguables sur la base des besoins en matière de PMD (Polarization Mode Dispersion) et d'atténuation à la longueur d'onde 1383nm [2].

La catégorie G.652.A contient les valeurs recommandées par l'UIT pour supporter les applications jusqu'à le système optique terrestre STM-16(1991), le 10Gb/s sur une distance de 40Km(Ethernet) et le système optique terrestre STM-256(2002) [6].

La catégorie G.652.B contient les attributs recommandés par l'UIT pour supporter les applications à haut débits jusqu'à le système optique terrestre STM-64(1996) et le STM-256(2002).

Enfin, la catégorie G.652.C et G.652.D sont des extensions des catégories G.652.A et G.652.B qui permettent la transmission dans un intervalle de longueur d'onde étendu allant de 1360nm à 1530nm.

La norme G.652 définit un ensemble de paramètre pour la fibre optique monomode utilisée dans les réseaux PON :

- Le coefficient de dispersion chromatique

Le coefficient de dispersion chromatique mesurer est ajusté en utilisant l'équation de Sellmeier à 3 termes. Le coefficient de dispersion chromatique ($D(\lambda)$) limite pour n'importe quelle longueur d'onde au voisinage de la région de 1310nm est calculé en utilisant la longueur d'onde minimale à zéro dispersion $\lambda_{0\min}$, la longueur d'onde maximale à zéro dispersion $\lambda_{0\max}$ et la pente de dispersion maximale $S_{0\max}$:

$$\frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\min}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

Avec $\lambda_{0\min} = 1300\text{nm}$, $\lambda_{0\max} = 1324\text{nm}$ et $S_{0\max} = 0.092\text{ps}/(\text{nm}^2.\text{km})$.

D'autre part, le coefficient de dispersion chromatique $D(\lambda)=17\text{ps}/(\text{nm.Km})$ pour la longueur d'onde égale à 1550nm.

La dispersion chromatique d'une fibre entraîne différents temps de propagation et un élargissement temporel des impulsions émises si celles-ci ne sont pas parfaitement monochromatiques. Au bout d'une certaine distance, si cet étalement devient relativement important, un recouvrement générateur d'interférence entre symboles est possible. Cet élargissement τ se calcule ainsi:

$$\tau = D(\text{ps}/(\text{nm.km}))L(\text{km})\Delta\lambda(\text{nm})$$

Avec L est la longueur de la fibre et $\Delta\lambda$ est la largeur spectrale de la source.

- Dispersion modale de polarisation (PMD)

Quand on envoie un signal sur une fibre « biréfringente », sans se soucier de sa polarisation, on excite les deux modes à la fois (polarisation parallèle et polarisation perpendiculaire). Chacun d'entre eux a sa propre vitesse de propagation. Ce décalage des temps de propagation de groupe a pour effet le dédoublement du signal à la sortie de la fibre, et donc un brouillage de l'information. On l'appelle dispersion modale de polarisation (Polarization Mode Dispersion, PMD).

Une caractéristique essentielle de ce phénomène réside dans son caractère aléatoire, étant donné qu'il est principalement d'origine extrinsèque et dépend de la qualité de la pose de celle-ci. La fibre optique apparaît ainsi comme un milieu fluctuant. La valeur moyenne du retard n'est donc pas suffisante pour le décrire totalement et nous utiliserons donc des données statistiques. La mesure principale est le DGD (Differential Group Delay), retard différentiel entre les deux composantes correspondant aux états principaux de la propagation.

Pour une liaison avec un coefficient de PMD spécifique, la valeur de la DGD de la liaison correspondante varie d'une façon aléatoire en fonction du temps et de la longueur d'onde comme la distribution de Maxwell qui contient un seul paramètre qui est le produit de coefficient de PMD de la liaison est la racine carrée de la longueur de la liaison. D'après les recommandations de la norme G.652 pour une valeur statistique maximale $PMD_Q =$

$0.5ps/\sqrt{km}$ ce qui implique une valeur de DGD maximale égale à 19ps pour une liaison de longueur 40km et un système Ethernet avec un débit de 10Gb/s.

- Atténuation

L'atténuation d'une liaison optique (A) formée par la concaténation de plusieurs fibres optiques est donnée par :

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

Avec α est le coefficient d'atténuation linéique, L est la longueur de la fibre, α_s est La perte moyenne de soudure, x est le nombre de soudure dans la liaison, α_c est la perte moyenne des connecteurs et y est le nombre de connecteurs dans la liaison. D'après les spécifications de la norme G.652, le coefficient d'atténuation est égal à 0.5dB/km pour l'intervalle de longueur d'onde compris entre 1260nm et 1360nm.

e) Laser Fabry Pérot

C'est une structure qui utilise une cavité de type Fabry Pérot constitué de guide et de la réflexion partielle sur les faces clivées ($R=30\%$, à cause de la forte différence d'indice avec l'air). La structure d'un laser Fabry Pérot est décrite par la figure 13.

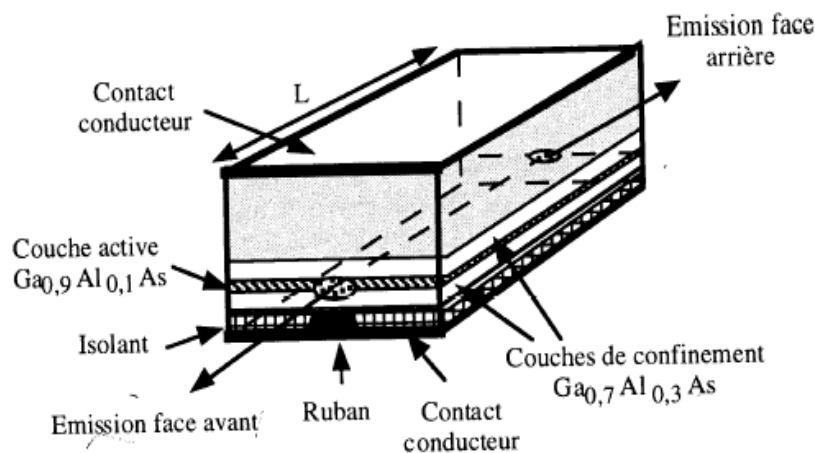


Figure 13. Structure d'un laser Fabry Pérot.

La résonance se produit lorsque la longueur du guide L est un multiple entier de la semi longueur d'onde, ce qui sélectionne les modes longitudinaux :

$$\lambda p = \frac{2Ln}{p} \text{ Avec } p \text{ entier}$$

D'où un espacement entre les raies :

$$\delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2NL} \text{ avec } N = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} \text{ indice de groupe très voisin de } n$$

Le spectre d'un laser Fabry Pérot est représenté par la figure 14.

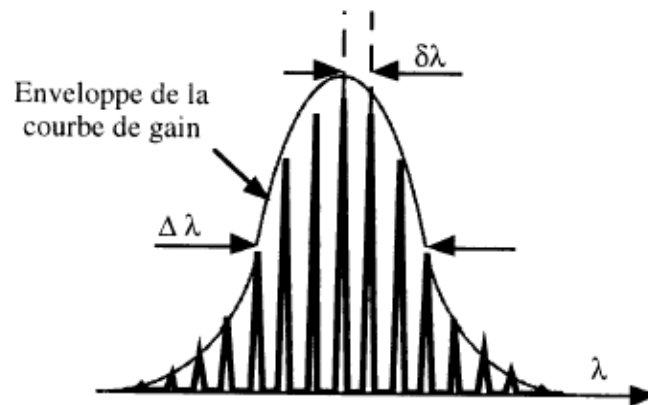


Figure 14. Spectre d'un laser Fabry Pérot.

Le spectre du laser Fabry Pérot contient plusieurs raies, ce spectre est dit multimode longitudinal. La largeur spectrale n'est pas nulle, ce qui est acceptable à 1300nm mais pas acceptable à 1550nm, à cause de la dispersion chromatique.

f) Laser DFB

La structure d'une diode laser à contre réaction distribuée (laser DFB) est schématisée par la figure 15.

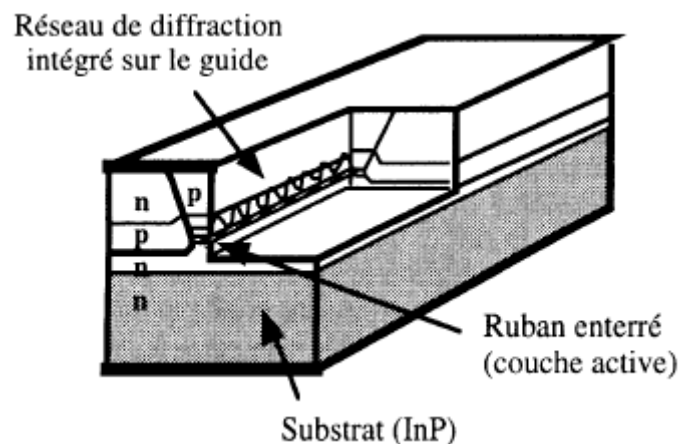


Figure 15. Structure d'un laser DFB.

Pour obtenir un spectre monomode en intégrant le long du guide un réseau de Bragg de pas Λ . Cette perturbation périodique va entraîner une réflexion distribuée de la longueur d'onde vérifiant :

$$\lambda_D = 2\Lambda n$$

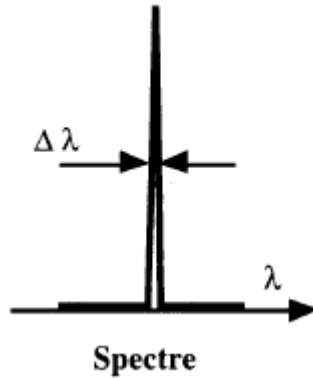


Figure 16. Spectre d'un laser DFB.

Le spectre d'un laser DFB est représenté par la figure 16. Le spectre du laser DFB est alors monomode longitudinal. Pour garder une longueur d'onde précise et stable, il faut asservir le courant et la température du laser.

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des émetteurs optoélectroniques [4].

	D.E.L	Fabry-Pérot à guidage par indice	DFB à guidage par indice
Puissance optique	< 1mW	Quelque mW	Quelque mW
Couplage dans une fibre optique	Quelque % (fibre multimode)	> 50% (fibre monomode)	> 50% (fibre monomode)
Spectre	Gaussien	Multimode	Monomode
Largeur spectrale	50 à 100nm	Quelque nm	< 0.1nm
Temps de montée	10ns	< 0.2ns	< 0.2ns
Cout	Faible	Moyen	Elevé
Applications	Transmission courte distance et analogique	Transmission longue distance sur fibres monomode à 1300nm	Transmission longue distance sur fibres monomode à 1550nm

g) Caractéristique d'une photodiode

Le système PON utilise la photodiode APD coté OLT et la photodiode PIN coté ONU [7]. Une photodiode est caractérisée par une sensibilité et un rendement quantique.

a) Le Rendement quantique

Le rendement quantique est défini comme étant le rapport entre le nombre d'électrons effectivement collectés aux contacts et le nombre de photons atteignant le photo-détecteur :

$$\eta = \frac{I/q}{P/h\nu}$$

Avec h est la constante de Planck ($h=6.610^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$), q est la charge de l'électron ($q=1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

b) La sensibilité

C'est le rapport entre le courant électrique I fourni par le détecteur et le flux énergétique P que reçoit ce dernier :

$$S = \frac{I}{P} (\text{A/W})$$

La sensibilité et le rendement quantique sont liés par la relation:

$$S = \frac{\eta q}{h\nu}$$

Avec $\nu = \frac{c}{\lambda}$ et $C=3.10^8 \text{ m/s}$.

IV. Les différentes normes des réseaux FTTH

1. La norme APON

C'est la première norme apparue suite aux travaux démarrés en 1995 dans l'initiative du group FSAN (Full Service Access Network) regroupant 21 opérateurs majeurs.

L'ATM (Asynchronous Transfer Method) est un protocole de transport, apparu au début des années 1990, gérant le transport de la voix, de la vidéo aussi bien que celle des données en garantissant une qualité de service. Les performances de l'ATM sont très évolutives. Ces performances sont obtenues grâce à la taille très réduite des cellules transmises : tout le trafic est divisé en trames de 53 octets (48 octets de données plus cinq d'entête), que l'on peut traiter avec des commutateurs très rapide.

ENTETE (5 OCTETS)	DONNEES UTILISATEUR (48 OCTETS)
-------------------	---------------------------------

Figure 17. Structure d'une trame ATM.

L'entête sert au mécanisme d'adressage et elle est importante pour définir comment la cellule sera remise. Les données (48 octets) est la portion qui transporte les véritables informations de voix, de données ou de la vidéo.

Des cellules de petite taille permettant de diminuer le temps de transit et ainsi de garantir des QoS exigées pour les applications temps réels [8].

La couche protocolaire de l'ATM proposé par l'ITU-T est formée par 3 couches à savoir la couche physique, la couche ATM et la couche d'adaptation ATM(AAL).

Tableau 1. Architecture du protocole ATM.

ATM ADAPTATION LAYER(AAL)
Couche ATM
Couche physique (SONET, DS3, FDDI)

La couche physique fait l'encodage des informations (trames) selon le support physique utilisé, on trouve principalement l'encodage SONET (Synchronous Optical NETwork), normalisé par l'ITU-T sous le nom de SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

La couche ATM est utilisée pour la commutation de cellules de petites tailles, basée sur les chemins et les circuits virtuels. Le chemin virtuel VP (Virtual Path) est un terme générique pour désigner un faisceau de connexions de circuits virtuels, tous possédant la même valeur VPI (Virtual Path Identifier) et terminant à la même paire de points finaux.

La couche AAL est une couche d'adaptation aux services des couches hautes.

Dans le tronçon FTTH, la méthode de prédilection de nombreux opérateurs est le réseau APON qu'ils ont normalisé. C'est simplement un système point-multipoint sur fibre optique qui utilise l'ATM comme protocole de transmission. Ces normes sont définies par l'ITU-T : G.983.1 et G.983.2. Cette normalisation s'effectue dans deux organismes, le premier est le

FSAN et le deuxième est l'IEEE. Avec l'APON les données à haut débit, la voix et la vidéo peuvent être acheminées sur une seule fibre.

La norme G.983.1 spécifie les systèmes d'accès optiques à large bande basés sur les réseaux optiques passifs, l'architecture du réseau de cette norme est représentée par la figure 18.

D'autres, part la norme G.983.2 décrit les spécifications de l'interface de gestion et de commande de terminaison de réseau optique pour réseau optique passif à large bande.

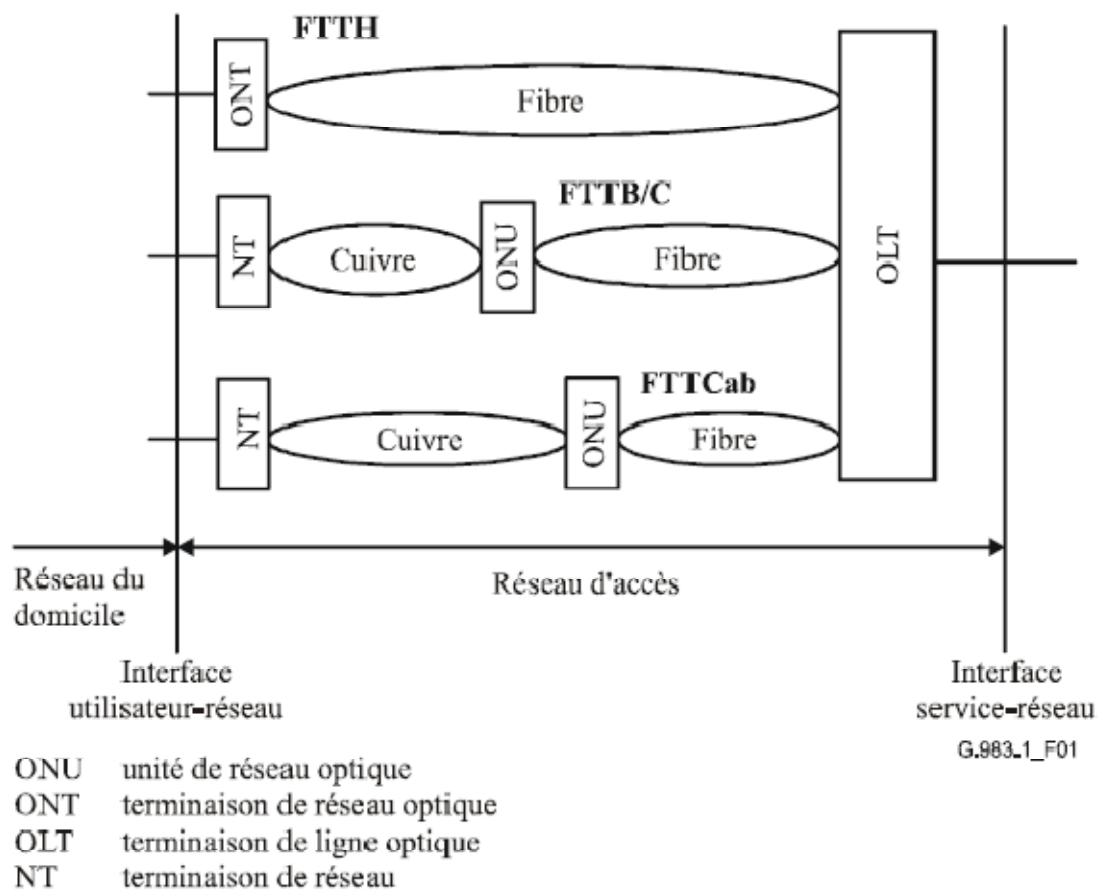


Figure 18. Architecture du réseau PON selon la norme G.983.1

Le bloc fonctionnel le l'ONT d'un réseau FTTH par exemple est composé par une interface de réseau ODN, un port utilisateur, de fonctions de multiplexage et de démultiplexage ainsi que l'alimentation en énergie (figure 19).

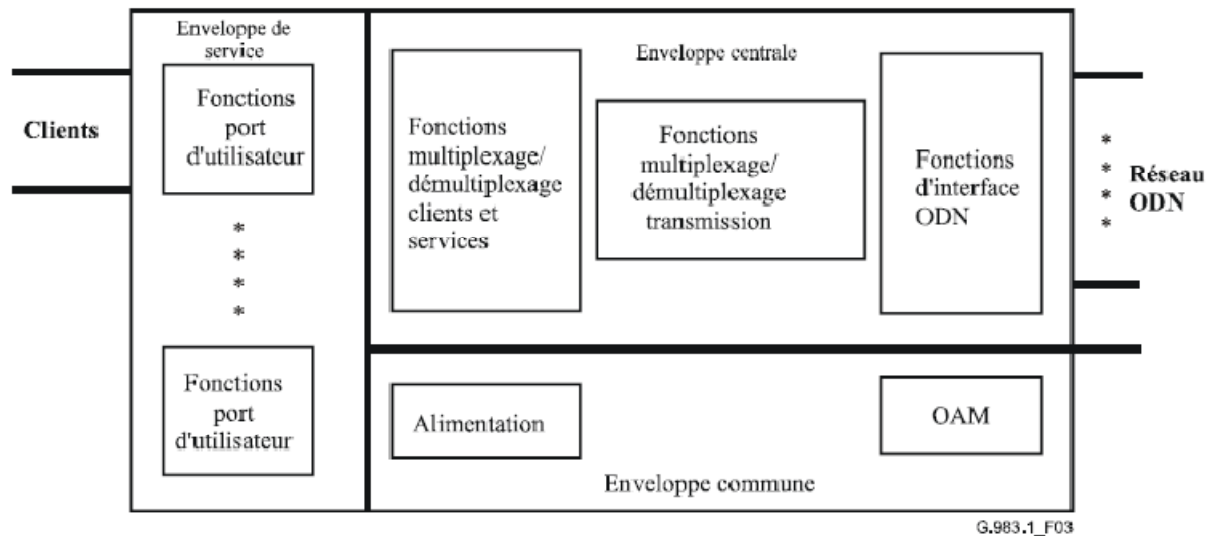


Figure 19. Bloc fonctionnel de l'ONT.

Un système APON peut relier jusqu'à 32 abonnés au réseau PON et leur fournir un système d'accès flexible et un débit de 622Mbit/s ou 155Mbit/s pour le sens descendant et un débit de 155Mbit/s pour le sens montant. Dans le sens descendant, le multiplexage des cellules ATM est utilisé alors qu'un protocole TDMA commande l'accès ascendant (montant) des abonnés du réseau.

Pour palier le manque de capacité des routeurs IP de gérer les classes de trafic selon la QoS demandée, ce qui se faisait dans l'architecture ATM, le protocole MPLS (Multi Protocol Label Switching) a été introduit. MPLS permet la commutation avec QoS sur des routeurs Giga Ethernet, il mène au même niveau de complexité que l'architecture ATM.

Les avantages survenus par l'arrivée de la technologie ATM n'ont pas raison d'être. Néanmoins, les opérateurs de télécommunications se voient obligés d'assurer ce type de service pour les équipements ne se connectant pas obligatoirement à l'Internet tels que les équipements de la surveillance d'autoroute, la visioconférence à caractère administratif ou commercial de chefs d'entreprises, la circulation des informations multimédias entre administration publiques, etc.

2. La norme BPON

Le BPON (Broad PON) est l'extension de l'APON en vue de fournir d'autres services, tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo (Broadcast vidéo). C'est un réseau de distribution en fibre optique en large bande.

En effet, les améliorations récentes de l'APON incluent une vitesse plus élevée, le multiplexage en longueur d'onde(WDM), une commande dynamique de la largeur de bande(DBA), une meilleure sécurité des données et une OMCI (ONU Management and control Interface) complète.

Pour traduire cette évolution, l'ITU-T a officiellement changé de nom du système en PON à large bande ou BPON.

l'ITU-T a défini 5 recommandations pour la norme BPON à savoir :

- La recommandation G.983.1 : système d'accès optique à large bande basés sur les réseaux optiques passifs.
- La recommandation G.983.2 : spécification de l'interface de gestion et de commande de terminaison de réseau optique pour réseau optique passif à large bande.
- La recommandation G.983.3 : système d'accès optique à large bande avec capacité de service accrue par attribution de longueur d'onde.
- La recommandation G.983.4 : système d'accès optique à large bande avec capacité accrue par assignation dynamique de largeur de bande.
- La recommandation G.983.5 : système d'accès optique à large bande à capacité de survie renforcée.

Le BPON actuellement déployés opérant en un des trois modes descendants/montant suivants : 155Mbits/s/155Mbits/s, 622Mbits/s/155Mbits/s ou 622Mbits/s/622Mbits/s.

Les autres caractéristiques des réseaux BPON sont :

- Utilise le multiplexage WDMA pour le sens descendant,
- Utilise le multiplexage TDMA pour le sens montant,
- BPON est l'extension de l'APON avec l'intégration d'autres services tels que l'Ethernet et la diffusion de la vidéo,

- Un système BPON peut relier jusqu'à 32 abonnés au réseau PON,
- La voix et les données utilisent 1490nm et 1310nm pour le sens descendant et le sens montant respectivement,
- Pour le transport de la vidéo numérique dans le sens descendant, la longueur d'onde 1550nm peut être utilisée.
- Distance OLT-ONU ne dépasse pas 20km.

3. La norme EPON

Ethernet (connu aussi sous le nom de norme IEEE 802.3) est une technologie de réseau local basé sur le principe que tous les utilisateurs d'un réseau Ethernet sont reliés à une même ligne de transmission et la communication se fait à l'aide d'un protocole appelé CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect) ce qui signifie qu'il s'agit d'un protocole d'accès multiple avec surveillance de porteuse et de détection de collision.

L'architecture du standard IEEE 802.x est formée par 3 couches, à savoir, la couche physique, la couche MAC (Medium Access Control) et la couche LLC (Logical Link Control) [9].

Tableau 2. Architecture du standard IEEE 802.x.

LLC
MAC
Couche physique

La couche physique assure le codage et décodage des bits, le bit timing et la synchronisation. La couche MAC est concernée par l'encapsulation et décapsulation des données, la détection des erreurs, l'acquittement et la gestion de l'accès au support de transmission. Enfin, la couche LLC traite le filtrage des messages, la notification des surcharges (overload) et la procédure de recouvrement des erreurs.

Les données sont diffusées depuis l'OLT vers les ONU en paquets de 1518 octets (IEEE 802.3 ah à 1.25Gbit/s) chacun des ONU ne prend en compte que les paquets qui lui concerne. Le trafic montant a une répartition dans le temps en synchronisation avec les flux descendants.

Cours Système d'accès optique

Le protocole DiffServ (Diferentiated Services) et la réservation de ressources permettant le transport de la voix et de la vidéo sur IP en temps réel. Les avantages du PON Ethernet peuvent être résumés ainsi :

- Les protocoles ATM et SDH ne sont plus nécessaires, d'où une forte économie en matériel.
- Le raccordement EPON peut évoluer facilement de 1Mbit/s à 155 Mbit/s.
- La sécurité est assurée en mode point à point par une relation entre LAN à travers les VPN.
- L'EPON utilise dans l'architecture point à multipoints des composants optiques passifs qui sont plus simples et moins couteux que l'électronique.
- La norme EPON permet de raccorder au central jusqu'à 64 ONU par OLT sur une seule fibre pour un débit global pouvant atteindre un Gbit/s.

Le budget optique de la norme IEEE 802.3 ah est représenté par le tableau 3.

Tableau 3. Budget optique de la norme IEEE 802.3.

		BUDGET MINIMAL	BUDGET MAXIMAL
1000 Base PX-10 (10km)	Descendant	5dB	19.5dB
	Montant	20dB	20dB
1000 Base PX-20 (20km)	Descendant	5dB	19.5dB
	Montant	24dB	24dB

4. La norme GPON

La norme GPON (Giga PON) est un protocole de 2^{ème} génération des PON édité par l'ITU-T comme norme de recommandation G.984. Le GPON ouvre les débits symétriques ou asymétriques jusqu'à 2.5 Gbits/s et optimise la mise en œuvre des services sur FTTH, avec des normes G.984.1 (caractéristiques générales du Giga PON), G984.2 (couche physique

PMD) et G.984.5 (couche de transmission). Le taux de couplage peut atteindre 64 et 128 abonnés et la sécurité met en usage dans le sens descendant une clé à 128 bits.

La norme G.984.2 définit 3 classes de réseaux de distribution optique(ODN) en fonction du budget optique c'est-à-dire en fonction de l'atténuation des composants passifs (tableau 4).

Tableau 4. Budget optique de la norme GPON.

	BUDGET MINIMAL	BUDGET MAXIMAL
Classe A	5 dB	20dB
Classe B	10dB	25dB
Classe C	15dB	30dB

La figure 20 représente les différents composants d'un arbre GPON.

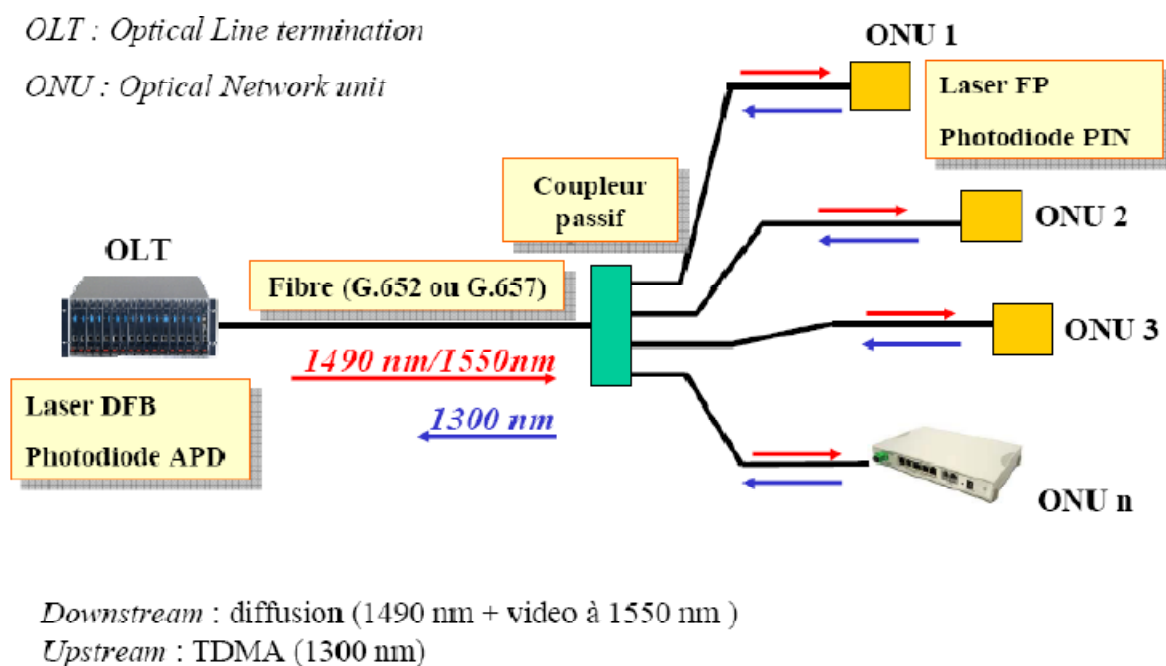


Figure 20. Constitution d'un arbre GPON.

Le GPON est basé sur un protocole appelé GFP (Generic Framing Protocol) qui utilise des trames de longueur variable jusqu'à 65535 octets dans une trame. Une trame GFP est représentée par la figure 21.

CORE HEADER (4 OCTETS)	PAYLOAD HEADER (X=4 À 64 OCTETS)	PAY LOAD INFORMATION (0 À 65636 –X) OCTETS	PAYLOAD FCS (4 OCTETS)
---------------------------	-------------------------------------	---	---------------------------

Figure 21. Structure d'une trame GFP.

Le GPON prend en compte dans ces entêtes la gestion de la qualité de service, par l'adressage des stations, par la fragmentation des messages et par des informations relatives à la taille de la charge utile transportée. Parmi les avantages du GPON, il offre la possibilité d'encapsuler des paquets ATM et Ethernet.

5. Tableau récapitulatif

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques des différentes normes des réseaux PON en termes de débit, protocole, débit descendant et montant, taux de partage, taille et type de la trame.

	APON	BPON	EPON	GPON
Norme	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE 802.3	G.984
Protocole	ATM	ATM	CSMA/CD	GFP
Débit descendant	622Mb/s ou 155Mb/s	155Mb/s ou 622Mb/s	1.25Gb/s	1.25 Gb/s ou 2.5Gb/s
Débit montant	155Mb/s	155Mb/s ou 622Mb/s	1.25Gb/s	155Mb/s ou 622Mb/s ou 1.25 Gb/s ou 2.5Gb/s
Taux de partage	16,32	16,32	16, 32,64	16, 32, 64, 128
Taille de la trame (octets)	53	53	1.518	65.535
Type de trame	Fixe	Fixe	Variable	Variable

V. Conception d'une liaison optique

1. Bilan de liaison optique

Pour faire la conception d'une liaison optique à un débit donné, et connaissant les performances des composants disponibles, on établit le bilan de liaison, tableau qui détermine la répartition des puissances optiques au long de la liaison. Ces puissances sont habituellement exprimées en dBm (10log de la puissance en mW).

Puissance moyenne à l'émission, couplée dans la fibre	$10\log P_e$	(dBm)
-atténuation des raccordements	$-A_R$	(dB)
-atténuation des coupleurs ou multiplexeurs	$-A_M$	(dB)
-marge pour se protéger des dérives et dispersions	$-m$	(dB)
-puissance moyenne en réception	$10\log P_m$	(dBm)
=atténuation disponible	$=a$	(dB)

La puissance moyenne à l'émission est en principe égale à la moitié de la puissance crête, et il faut considérer la puissance effectivement couplée dans la fibre.

La marge est de 3 à 6dB suivant les conditions d'exploitation (environnement des composants, risque de coupure de câble, opération de démontage plus moins fréquentes) et est en général le fruit de l'expérience.

2. Portée d'une liaison optique

La portée d'une liaison optique est définie comme étant la distance maximale entre émetteur et récepteur, elle est donnée par l'équation suivante :

$$\text{Portée de la liaison} = \frac{\text{Atténuation disponible}}{\text{Atténuation linéique}} = \frac{a}{\alpha}$$

La portée est trouvée en divisant l'atténuation disponible par l'atténuation linéique moyenne du câble optique.

L'atténuation étant connue, il reste à vérifier que la bande passante est suffisante ; sinon on réduit la portée ou on change de fibre.

3. Bande passante d'une liaison optique

Pour la fibre monomode qui satisfait aux spécifications de l'UIT-T de coefficient de dispersion maximum $D(\lambda)$, le produit (débit binaire*longueur de la fibre) est:

$$(B. L)_{\max} = \frac{1}{2D(\lambda)\Delta\lambda}$$

Avec L en km et $\Delta\lambda$ en nm.

VI. Conclusion

Dans ce cours nous avons présenté les différentes techniques de multiplexage optique ainsi nous avons mis l'accent sur les réseaux d'accès optiques passifs. Dans une deuxième partie, nous avons exposé les différentes normes des réseaux PON en l'occurrence les normes APON, BPON, EPON et GPON respectivement. Enfin, nous avons exposé les techniques de conception d'une liaison optique en fonction du bilan de liaison, de portée de la liaison et de bande passante.

Glossaire

	SIGNIFICATION ANGLAISE	SIGNIFICATION FRANÇAISE
OTDMA	Optical Time Division Multiplexing Access	Accès multiple par répartition temporelle optique
WDMA	Wavelength Division Multiplexing Access	Accès multiple par répartition de longueurs d'ondes
OCDMA	Optical Code Division Multiplexing Access	Accès multiple par répartition de code optique
VPN	Virtual Private Network	Réseau privée virtuel
ATM	Asynchronous Transfer Method	Méthode de transfert asynchrone
PON	Passive Optical Network	Réseau optique passive
APON	ATM Passive Optical Network	ATM Réseau optique passive
BPON	Broadband Passive Optical Network	Réseau optique passive à large bande
EPON	Ethernet Passive Optical Network	Ethernet Réseau optique passive
GPON	Giga Passive Optical Network	Gigabit Réseau optique passive
FTTH	Fibre To The Home	Fibre à domicile
FTTC	Fibre To The Curb	Fibre au trottoir
FTTCab	Fibre To The Cabinet	Fibre au sous répartiteur
FTTO	Fibre To The Office	Fibre au bureau
FTTB	Fiber To The Building	Fibre à l'immeuble
ONU	Optical Network Unit	Unité de réseau optique
OLT	Optical Line Terminal	Émetteur central
GFP	Generic Framing Protocol	Protocole de cadrage générique
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage en longueur d'onde
DWDM	Dense WDM	Multiplexage en longueur d'onde dense
DFB	Distributed Feedback Laser	Laser à contre réaction distribuée
QoS	Quality of Service	Qualité de service
WAN	Wide area Network	Réseau étendu
MAN	Metropolitan Area Network	Réseau métropolitain
LAN	Local Area Network	Réseau local
PMD	Polarization mode Dispersion	Dispersion modale de polarisation
DGD	Differencial Group Delay	Délai de Groupe Différentiel
MPLS	Multi Protocol Label Switching	Multi-protocole à commutation d'étiquettes
OMCI	ONU Management and Control Interface	Interface de contrôle et d'administration de l'ONU
MAC	Medium Access Control	Contrôle d'accès au support
LLC	Logical Link Control	Couche de liaison de données
VLAN	Virtual LAN	Réseau local virtuel
AAL	ATM Adptation Layer	Couche d'adaptation ATM

Cours Système d'accès optique

ODN	Optical Distribution Network	Réseau de distribution optique
OAN	Optical Access Network	Réseau d'accès optique
OOC	Optical Orthogonal Code	Code optique orthogonal
PC	Prime Code	Code premier
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Hiérarchie numérique synchrone
SONET	Synchronous Optical NETwork	Réseau optique synchrone

Bibliographie et webographie

- [1] Optical Code Division Multiple Access: fundamentals et applications, R. Prucnal, CRC Press. 2006.
- [2] www.itu.int, International Telecommunication Union.
- [3] www.dept.washington.edu, département d'éducation de Washington.
- [4] Télécom sur fibres optiques, Pierre Lecoy, édition Hermes. 1997.
- [5] Introduction to fiber optics, Navy Electricity and Electronics Training Series. 1998.
- [6] Télécommunications optiques (composants actifs), Monique Thual, Université de Rennes. 2005.
- [7] Simulation des réseaux PON, Mohamed Amine Bergach, Telecom sud Paris. 2009.
- [8] Réseaux industriels et de télécommunications, Salem Hasnaoui, Centre de publication Universitaire, Tunis. 2003.
- [9] www.ieee.org, Institute of Electrical and Electronics Engineers.

	T.D 1 SYSTEME D'ACCES OPTIQUE	2010/2011
---	--	------------------

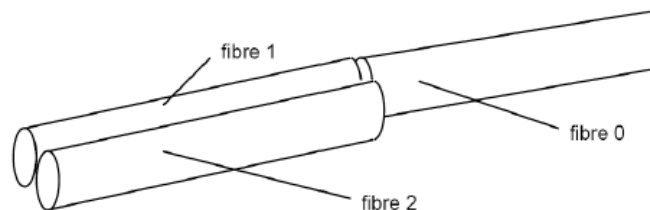
Exercice 1 : Diode laser

Une diode laser à cavité de Fabry Pérot est caractérisée par une longueur d'onde centrale égale à 1300nm, un indice du matériau égal à $n=3.5$ et une longueur $L=0.5\text{mm}$.

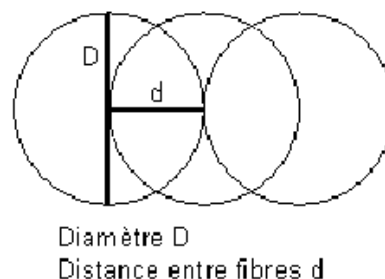
On demande l'espace entre les modes longitudinaux ainsi que leur nombre total sachant que la largeur spectrale de la diode laser est égale à 5nm.

Exercice 2 : Coupleur optique

Un coupleur optique 1 voie vers 2 a l'allure suivante :



En agrandissant la jonction entre les fibres, on obtient :




Le coupleur est constitué de trois fibres identiques, de diamètre D. Il est caractérisé par le rapport entre les voies 1 et 2, par exemple 50/50 ou 40/60.

- 1) Calculer le taux de couplage de la fibre 0 vers la fibre 1 pour un rapport de couplage 1/2 de 5/95 et 1/2 de 95/5.
- 2) Calculer la perte globale d'insertion du coupleur optique en dB pour les deux rapports de couplage, sachant que $P_0 = (0.5P_1 + 0.5P_2)$.

- 3) En déduire la perte globale du coupleur optique en dB, on suppose qu'il y a une perte systématique de 0,3 dB à cause du désalignement angulaire, de l'éloignement spatial, de la colle employée.

Exercice 3 : Photodiode PIN

Une photodiode a une sensibilité de 0,65 A/W à 0,9 μm lorsqu'elle est polarisée en inverse par une tension de 20 V. Calculer le courant électrique fourni par la diode si sa surface reçoit un flux énergétique de 5 μW . Quel est son rendement quantique ?

	T.D 2 SYSTEME D'ACCES OPTIQUE	2010/2011
---	--	------------------

Exercice 1 : Liaison optique

On se propose de réaliser une liaison de 12km par fibre optique entre ordinateurs avec un débit minimum exigé de 2Mbit/s et un TEB admis de 10^{-8} .

On dispose des composants suivants :

- LASER : puissance d'émission 10mW, bande passante 600Mhz, rendement de couplage - 3dB,
 - Fibre à gradient d'indice : bande passante 100Mhz pour 1km, atténuation 3dB/km, livrée par rouleaux de 1km,
 - Photodiode PIN de sensibilité 0.5A/W, bande passante 1Ghz, niveau minimum de détection à 2Mbit/s et à un taux d'erreur 10^{-8} :-52dBm,
 - Connecteur à l'émetteur : perte de 1dB,
 - Connecteur au récepteur : perte de 1dB,
 - Epissure par soudage : perte de 0.3dB.
- 1) Calculer la puissance moyenne à l'émission en dBm.
 - 2) Calculer l'atténuation globale des composants de la liaison optique.
 - 3) En déduire le bilan en énergie de liaison.

Exercice 2 : Système PON

Un opérateur de télécommunications veut connecter 64 abonnés sur un réseau PON en utilisant des coupleurs 1×4 en cascade.

L'émetteur est une diode laser couplant une puissance crête de 4mW dans la fibre avec une largeur spectrale égale à 0.1nm.

La fibre optique monomode employée de dispersion chromatique $D=17\text{ps (km/nm)}$ à 1550nm et possède une atténuation linéique égale à 2.5dB/km.


Système d'accès optique

Il y a un connecteur de perte égale à 1dB entre les différents composants de la liaison optique.

Le coupleur 1×4 présente une atténuation d'insertion de l'ordre de 3dB.

Le récepteur a un niveau minimum de détection égale à -64dBm.

- 1) Donner un schéma de l'ensemble de la liaison.
- 2) Calculer la puissance moyenne couplée dans la fibre en dBm.
- 3) Calculer le bilan de liaison sachant qu'on ajoute une marge égale à 3dB.
- 4) Calculer la longueur maximale de la liaison.
- 5) En déduire la bande passante de la liaison.

	Devoir surveillé Système d'accès Optique Enseignant H. MRABET	A.U. 2010/2011 Classe RST A-B-C Durée 1H Nbr. de page 1
---	--	--

Partie 1 : Liaison optique

On considère une liaison optique constituée d'un laser DFB caractérisé par un indice égal à $n=3.5$ et une largeur spectrale égale à $\Delta\lambda=0.1\text{nm}$, d'une fibre monomode de longueur 20km caractérisée par un coefficient d'atténuation égale à $\alpha=0.3\text{db/km}$ et une photodiode de type PIN de sensibilité $S=0,65\text{A/W}$.

1. Calculer la longueur d'onde d'émission de la source laser sachant que le pas du réseau de diffraction est égal à $0,221\mu\text{m}$.
2. En déduire l'élargissement temporel des impulsions du à la dispersion chromatique sachant que le coefficient de la dispersion chromatique de la fibre est égal à $D=3.5\text{ps}/(\text{nm}\times\text{km})$ à $1,3\mu\text{m}$ et égal à $D=17\text{ps}/(\text{nm}\times\text{km})$ à $1,55\mu\text{m}$.
3. Calculer l'atténuation totale de la fibre monomode employée.
4. Calculer le rendement quantique de la photodiode sachant que la constante de Planck $h=6.610^{-34}\text{m}^2\text{kg/s}$, la charge de l'électron $q=1,610^{-19}\text{C}$ et la vitesse de la lumière dans le vide $C=3.10^8\text{m/s}$.


Partie 2 : Réseau optique passif(PON)

1. Quelle est l'architecture d'un système d'accès optique passif(PON) pour une liaison descendante et montante?
2. Quels sont les composants optiques d'un système PON?
3. Décrire la fonctionnalité des composants optiques passifs d'un système PON.

Partie 3 : Norme GPON

Quelle sont les caractéristiques de la norme GPON, en termes de protocole, débit descendant, débit montant, taux de partage, taille de la trame et le type de la trame?

Bon travail

	Devoir de synthèse Système d'accès Optique Enseignant H. MRABET	A.U. 2010/2011 Classe RST A-B-C Durée 1H30 Nbr. de page 2
---	--	--

Partie 1 :

On considère un «système 1» composé de 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 Pérot couplant une puissance crête de 6mW dans la fibre avec une largeur spectrale égale à 5nm. La diode laser de type Fabry Pérot possède un pourcentage de couplage dans la fibre égal à 50%.

La fibre optique monomode G.652 employée est de dispersion chromatique $D=3.5\text{ps}/(\text{km.nm})$ à $1.3\mu\text{m}$ et possède une atténuation linéique égale à 2.5dB/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 1×4 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 0.5A/W et un niveau minimum de détection égal à -64dBm.

- 1) Quel est le nombre total de coupleurs 1×4 nécessaires pour cette liaison ?
- 2) Quel est le nombre total de connecteurs nécessaires pour cette liaison ?
- 3) Donner un schéma de l'ensemble de la liaison du « système 1 ».
- 4) Calculer l'espacement entre les modes longitudinaux(raies) ainsi que leur nombre total de la diode laser Fabry Pérot sachant qu'il est caractérisé par une longueur d'onde centrale égale à $1.3\mu\text{m}$, un indice de matériau : $n=3.5$ (on fera $n=N$, indice de groupe) et une longueur $L=0.5\text{mm}$.
- 5) Calculer le rendement quantique de la photodiode PIN sachant que la constante de Planck $h=6.6 \cdot 10^{-34}\text{m}^2\text{kg/s}$, la charge de l'électron $q=1.6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ et la vitesse de la lumière dans le vide $C=3 \cdot 10^8\text{m/s}$.
- 6) Calculer la puissance moyenne couplée dans la fibre en dBm.
- 7) Etablir le bilan de liaison du « système 1 » sachant qu'on ajoute une marge égale à 6dB.

Système d'accès optique

- 8) Calculer la portée de la liaison du « système 1 ».
- 9) En déduire la bande passante de la liaison du « système 1 ».
- 10) En déduire le débit de la liaison du « système 1 ».

Partie 2 :

Maintenant, l'opérateur de télécommunication veut connecter les 64 abonnés sur un réseau optique passif(PON) en utilisant des coupleurs 1×8 en cascade (« système 2 »).

L'émetteur est une diode laser de type DFB couplant une puissance crête de 4mW dans la fibre avec une largeur spectrale égale à 0.1nm. La diode laser de type DFB possède un pourcentage de couplage dans la fibre égal à 50%.

La fibre optique monomode G.652 employée est de dispersion chromatique $D=17\text{ps}/(\text{km.nm})$ à $1.55\mu\text{m}$ et possède une atténuation linéique égale à 2.5dB/km.

Il y a un connecteur de perte égale à 0.5dB entre les différents composants de la liaison optique du « système 2 ».

Le coupleur 1×8 présente une perte de l'ordre de 4.5dB. On suppose que les coupleurs 1×8 en cascade sont reliés à travers une fibre optique monomode G.652. Le dernier coupleur 1×8 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 0.8A/W et un niveau minimum de détection égal à -52dBm.

- 1) Quel est le nombre total de coupleurs 1×8 nécessaires pour cette liaison ?
- 2) Quel est le nombre total de connecteurs nécessaires pour cette liaison ?
- 3) Donner un schéma de l'ensemble de la liaison du « système 2 ».
- 4) Calculer le pas du réseau de diffraction de la diode laser DFB émettant à $1.55\mu\text{m}$, l'indice du matériau étant 3.5.
- 5) Calculer la puissance moyenne couplée dans la fibre en dBm.
- 6) Etablir le bilan de liaison du «système 2» sachant qu'on ajoute une marge égale à 4dB.
- 7) Calculer la portée de la liaison du «système 2».
- 8) Calculer l'élargissement des impulsions sur cette portée.
- 9) En déduire la bande passante et le débit de la liaison du « système 2».
- 10) Quelle est la meilleure solution (« système 1» ou « système 2») en termes d'atténuation disponible et de débit? Justifier la réponse.

Bon travail