

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOU D MAMMERI TIZI-OUZOU
FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT ÉLECTRONIQUE



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES :

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État en électronique

Option : Communication.

Thème :

**Etude et application de la transmission
DWDM par fibre optique à haut débit**

Le promoteur :

M. TAHANOUT M.

Le Co-promoteur :

M. IZRI K.

Étudie par :

Mlle. ABDELLI Farida

Mlle. DERRADJI Nassima

Remerciement

Nous remercions notre promoteur Mr TAHANOUT, notre Co promoteur, Mr IZRI K pour leur disponibilité et leur orientation durant l'élaboration de ce travail.

Nous remercions toute l'équipe travaillant au centre CA2 d'ALGERIE Télécom de la wilaya de TIZI-OUZOU.

Nos remerciements iront également au président et aux membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre modeste travail

Nos vifs remerciements vont également aux enseignants qui nous suivi durant tout le cycle, en particulier ceux du département d'électronique qui ont contribue à notre formation.

L'aboutissement de se travail doit beaucoup à nos familles et à mos amis qui nous soutenus durant ces longs mois de labeur.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A la lumière de mes yeux, mes très chères parents qui m'ont toujours encouragé dans mes études et qui ont contribué pour que j'arrive à ce niveau.*
- ❖ *A mes frères et sœurs, sans oublier mon adorable Hamid.*
- ❖ *A tous mes amis.*
- ❖ *A mon binôme Nassima*
- ❖ *A tous ce qui me sont chers.*

Farida

Je tien a dédier ce modeste travail avant tout à :

- ❖ *La mémoire de mon cher père,*
- ❖ *A Ma très cher mère (que dieu me la garde, cette âme chaleureuse) pour sa tendresse sa générosité et surtout sa compréhension et son soutien,*
- ❖ *A Mes chères sœurs DAHDIA et OUIZA qui tiennent une grande place dans mon cœur,*
- ❖ *A Mon cher frère KAMEL que j'aime et que j'admire beaucoup,*
- ❖ *A Notre petit ange bien émis MOUHAMED AGHILES,*
- ❖ *Mon cher mari SIDALI et a toute sa famille,*
- ❖ *A Ceux qui ont partagés ce travail avec moi, mes amis avant d'être mon binôme « farida » ainsi toute sa famille*
- ❖ *A Mon beau frère MOURAD et toute sa famille*
- ❖ *A toute la promotion 2010-2011electronique.*
- ❖ *A tous mes camarades et mes amies : Amel, sonia, naima, Saïda, yasmine, Sabrina, hinane ,ghania, yahia, Sofiane, Saïd, fethi,*
- ❖ *Et enfin atout ce qui m'on aidé de loin ou de prés durant les moments difficiles.*

Nassima

Sommaire

Introduction générale

I. Liaison de transmission par fibre optique

I.1.Introduction.....	1
I.2.Réseaux optiques.....	1
I.2.1. Réseau étendu ou langue distance (WAN, Wide Area Network).....	2
I.2.2.Réseau métropolitain (Man, Metropolitan Area Network).....	2
I.2.3 .Réseau local (LAN, Local Area Network).....	3
I.3. notions générales sur l'optique.....	3
I.3.1. la lumière.....	3
I.3.2.Indice de réfraction.....	3
I.3.3.la longueur d'onde.....	4
I.3.4. Théorèmes optiques.....	4
I.4.L'architecture d'une liaison par fibre optique.....	5
I.4.1.La fibre optique.....	6
I.4.2. Types de la fibre optique.....	6
I.4.2.1. Fibre multimode.....	7
I.4.2.2.Fibre monomode.....	8
I.4.2.3.Propagation de la lumière dans une fibre.....	9
I.4.3.caractéristique de la fibre optique.....	9
I.4.3.1.bande passante.....	9
I.4.3.2.l'ouverture numérique.....	10
I.4.3.3.Atténuation.....	10
I.4.3.4.les fenêtres de transmission.....	18
I.4.3.5. les pertes dans la fibre.....	18
I.4.4.utilisation de différente fibre optique.....	19
I.4.6.1. le laser.....	10

I.4.6.2. la diode laser.....	21
I.4.6.3. Modulation.....	21
I.4.7. module de réception.....	22
I.4.7.1. Conversion optique/électrique.....	22
I.4.8. l'amplificateur optique.....	24
I.4.8.1. L'amplificateur à fibre optique dopée à l'erbium(AFDE).....	25
I.4.8.2. Amplificateur à semi-conducteurs (AOSC).....	25
I.4.9. Les filtres optiques.....	26
Conclusion.....	26

II. Transmission numérique.

II. Introduction.....	26
II.1. principe de la modulation MIC ou PCM.....	26
II.1.1. L'échantillonnage.....	26
II.1.2. La quantification.....	27
II.1.3. La compression	27
II.1.4. La trame MIC.....	27
II.2. Le codage.....	28
II.2.1. Codes de transmission.....	28
II.2.2. Choix du code de transmission.....	29
II.2.3. représentation des signaux codés.....	29
II.2.3.1. codage NRZ.....	29
II.2.3.2. Codage HDBn (Haute Densité Binaire d'ordre n).....	30
II.2.3.3. Codage NRZI (Non Return to Zero Inverted).....	30
II.2.3.4. Codage Manchester.....	31
II.3. La modulation.....	32
II.3.1. La modulation de fréquence FSK (Frequency Shift Keying).....	32
II.3.2 Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying).....	32

II.3.3 Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying).....	33
II.3.4. Modulation QAM.....	33
II.4. Les types de systèmes de transmission.....	34
II.4.1. Transmission asynchrone	35
II. 4.2. Transmission synchrone.....	35
II.5 .Hiérarchie digital plésiochrone.....	36
II.5.1. Multiplexage temporel dans la hierarchie PDH en Europe.....	36
II.5.2. La hiérarchie SONET et SDH.....	37
II.5.2.1.Principe de multiplexage SDH.....	38
II.5.2.2. Définition des éléments de la hiérarchie	38
II.5.2.3. La trame de base.....	39
II.5.2.4. Les trame STMn.....	41
II.5.3. Multiplexeur/démultiplexeur optique.....	42
II.5.4. Les techniques de multiplexage.....	42
II.5.4.1.Le multiplexage temporel TDM.....	43
II.5.4.2.Le multiplexage fréquentiel FDM.....	43
II.5.4.3.Le multiplexage WDM/DWDM.....	43

III. Réseaux et protocole de communication.

III.1.Introduction.....	45
III.2.Les éléments d'un réseau.....	45
III.2.1.présentation du modèle OSI.....	45
III.2.2.Les couches du modèle OSI.....	45
III.2.3. Règle de définition des couches.....	46
III.3. Les différentes couches du modèle OSI.....	46
III.3.1. La couche physique.....	46
III.3.2. La couche Liaison	47
III.3.3. La couche Réseau.....	47

III.3.4. La couche Transport.....	47
III.3.5. La couche Session.....	48
III.3.6. La couche Présentation.....	48
III.3.7. La couche Application.....	48
III.4. Le protocole de communication TCP/IP.....	49
III.4.1. Les couches du modèle TCP\IP.....	50
III.4.1.1. La couche hôte réseau.....	50
III.4.1.2. La couche Internet.....	50
III.4.1.3. La couche transport.....	50
III.4.1.4. La couche application.....	52
III.4.2. Analogie TCP/IP modèle ISO.....	52
III.4.3. Comparaison TCP/IP avec le modèle OSI.....	52
III.4.4. Le protocole IP.....	52
III.4.4.1. Le rôle de protocole IP.....	52
III.4.4.2. Les datagrammes.....	52
III.4.4.3. L'adressage IP.....	54
III.4.4.4. Les classe d'adresse IP.....	55
III.4.5. les adresses IP conventionnelles (adresse réservé).....	55
III.4.6. Routage IP.....	55
III.4.6.1. Tables de routage.....	56
III.4.6.2. Routage dynamique.....	56
III.4.6.3. Routage statique.....	57
III.4.6.4. Le routage interdomaine sans classe.....	57
III.4.7. Types d'adresses.....	58
III.4.7.1 L'adresse de broadcast d'un réseau local.....	58
III.4.7.2 Adresse multicast.....	59
III.4.7.3 Adresse unicast.....	59

III.4.8. Configuration d'adresse IP.....	59
III.4.8.1.configuration manuelle.....	60
III. 4.8.2. Configuration automatique.....	60
III.5. Protocoles de routage.....	60
<i>III.6. le protocole MPLS.....</i>	<i>60</i>
<i>III.6.1.définition.....</i>	<i>60</i>
<i>III.6.2.Objectif de MPLS.....</i>	<i>60</i>
<i>III.6.3. Principe du MPLS.....</i>	<i>60</i>
<i>III.6.4.fonctionnement du MPLS.....</i>	<i>61</i>
<i>III.6.5.le label MPLS.....</i>	<i>61</i>
<i>III.6.6.Le LSP (label Switch Path).....</i>	<i>61</i>
<i>III.6.7.Le protocole LDP.....</i>	<i>62</i>
<i>III.6.8.Traffic Engineering (ingénierie de trafic).....</i>	<i>62</i>
<i>III.6.9. La qualité de service QoS.....</i>	<i>63</i>
<i>III.6.10.utilisation MPLS dans le cadre VPN.....</i>	<i>64</i>
<i>III.6.10.1.VPN.....</i>	<i>64</i>
<i>III.6.10.2.La solution MPLS.....</i>	<i>64</i>
III.7.conclusion.....	65

IV. La technologie WDM

IV.1. Introduction.....	69
IV.2.Multiplexage en longueur d'ondes.....	69
IV.2.1.Les fenêtres de transmission de la fibre optique.....	70
IV.2.2.Principe de base pour WDM.....	71
IV.2.3.Composants et architecteur d'un réseau WDM.....	72

IV.2.4.routage optique.....	73
IV.2.4.fonctionnement des réseaux optiques WDM.....	73
IV.2.5.les différentes technologies de WDM.....	74
IV.2.5.Fonctionnement des réseaux optiques WDM.....	75
IV.2.6.Les différentes technologies de WDM.....	75
IV.2.7.Les avantages de la transmission WDM.....	76
IV.2.8.inconvénients de WDM.....	77
<i>IV.3. Développement des capacités.....</i>	<i>77</i>
<i>IV.4. Différents composants du réseau de communication optique pour le WDM...77</i>	
IV.4.1.Les liens optiques.....	78
IV.4.2 Les amplificateurs optiques.....	78
IV.4.3.Convertisseur optique.....	79
<i>IV.4.4. Filtre optique.....</i>	<i>79</i>
<i>IV.4.5. Transpondeur optique.....</i>	<i>79</i>
<i>IV.4.6.Commutateurs optiques.....</i>	<i>81</i>
IV.4.6.1. Répartiteur optique.....	82
IV.4.6.2. Les brasseurs OXC (Optical Cross Connect).....	82
<i>IV.4.6.3. Multiplexeur à insertion/extraction optique.....</i>	<i>82</i>
<i>IV.5. Les contraintes physiques.....</i>	<i>82</i>
IV.5.1.La dispersion modale de la polarisation(PMD).....	83
<i>IV.5.2. Les effets non linéaires.....</i>	<i>84</i>
<i>IV.5.3. La diaphonie « Crosstalk ».....</i>	<i>84</i>
IV.5.4.La dispersion chromatique.....	84
<i>IV.6.Les protocoles d'accès au canal optique.....</i>	<i>85</i>

IV.6.1 L'accès Multiple par répartition de temps (TDMA).....	85
IV.6.2 Accès multiple par répartition de fréquences (FDMA).....	87
IV.6.3 L'accès multiple par répartition de code (CDMA).....	87
IV.6.4 Accès multiple par répartition en longueur d'onde (WDMA).....	88
IV.7. Les diverses familles des fibres optiques.....	88
IV.7.1. Les fibres SMF.....	88
IV.7.2. Les fibres DCF.....	88

Conclusion

V. Presentation de réseau backbone d'Algerie télécom

V. Introduction.....	89
V.1. Configuration SDH service.....	89
V.1.1. cahier des charges.....	89
V.1.2. planification.....	90
V.1.2.1. Réseau SDH.....	90
V.1.2.2. adressage IP.....	91
V.1.2.3. Information sur les cartes.....	91
V.1.2.4. connexion des fibres optiques.....	92
V.1.2.5. Allocation des timeslot.....	92
V.1.2.6. traçage de l'horloge.....	93
V.2. Architecture du réseau.....	94
V.2.1. synchronisation du réseau Backbone national 10 Gbits/s (boucle est)....	96
V.2.2. réseau international.....	96
V.2.3. Maillage et développement en fibre optique des wilayas.....	97
V.3. Capacité du Réseau.....	98
V.3.1. Equipements du réseau.....	99
V.3.2. Réseau DWDM de la Ville d'ALGER.....	100
V.4. Préparation des différentes liaisons.....	100

V.4.1. configuration d'un Optix 155 /622H (metro1000).....	100
V.4.2. lancement du T2000 (serveur et client.....	100
V.4.3. Recherche de l'équipement.....	102
V.4.4. configuration de l'équipement.....	102
V.4.5. Configuration des différentes cartes.....	103
V.4.6. réaction de différentes liaisons entre les NEs	104
V.4.7. création d'une topologie sous-réseau.....	105
V.4.8. création d'un sous réseau avec protection.....	106
V.4.9. configuration de la ligne service.....	107
V.4.10. Alarmes.....	108

Conclusion générale

Annexe.

Bibliographie.

Listes des figures.

Liste des tableaux.

Glossaire.

Les réseaux sont constitués de deux parties, la partie équipement qui englobe les machines et les supports de transmissions (les câbles coaxiaux, fibre optique etc...) et la partie logiciels constituée des protocoles (TCP/IP) qui traite les données à transporter.

L'apparition de la fibre optique a totalement révolutionné le monde des télécommunications.

La conception du système de transmission à très grande capacité est désormais possible. De plus les échanges à travers ces systèmes allaient être de plus en plus nombreux et la demande de services de plus en plus élevée.

La large bande passante de la fibre optique permet de transporter une très grande quantité d'informations, mais son utilisation optimale se heurte à divers problèmes.

C'est pourquoi différentes techniques de multiplexage ou de codage ont été proposées pour augmenter le nombre de canaux dans la fibre.

La technologie DWDM est née, avec l'idée d'injecter simultanément dans la même fibre optique plusieurs trains des signaux numériques chacun ayant une longueur d'onde distincte.

Cette technique de transmission optimise fortement l'utilisation des fibres optiques et réduit sensiblement le cout de l'unité de transport en termes d'équipement.

Ces dernières années, Algérie Telecom s'est lancée dans le processus de modernisation de son réseau de télécommunication par la mise en œuvre du backbone fibre optique de grande capacité DWDM parallèlement au réseau SDH pour satisfaire les besoins des operateurs, afin de contribuer au mieux au développement national.

Le but de ce projet consiste à étudier une solution technique offrant un meilleur cout au sein du réseau d'Algérie Télécom.

Ce mémoire est structuré en cinq chapitres :

- Chapitre I : liaison de transmission par fibre optique
- Chapitre II : transmission numérique
- Chapitre III : réseau et protocoles de communication
- Chapitre IV : la technologie WDM
- Chapitre V : présentation du backbone d'Algérie Telecom

Et nous terminerons par une conclusion générale.

Chapitre I

Liaison de transmission par fibre optique

I.1.Introduction

Les réseaux de télécommunication prennent essor dans le monde. Les transmissions par fibres optiques sont devenues des techniques courantes et éprouvées dans le monde des télécommunications ; la conception des systèmes de transmission par fibres optiques nécessite la connaissance des caractéristiques et du fonctionnement des sous ensemble impliqués. Nous avons choisi dans ce premier chapitre d'apporter un bref descriptif des réseaux optique et de présenter les constituant un système de transmission numérique sur fibre optique.

I.2. Réseaux optiques

Dans un réseau la chaîne de transmission d'un signal, depuis le point d'expédition jusqu'au point de destination, comporte trois maillons principaux :

- Les réseaux longues distances (ou les WAN, Wide Area Network). Ce sont les réseaux déployés à l'échelle d'un pays ou d'un continent et dans les nœuds sont de très grands centres urbains.
- Les réseaux métropolitains (Metropolitan Area Network =MAN) qui correspondent aux réseaux mis en œuvre dans une grande ville ou agglomération et qui permettent de relier différents arrondissements.
- Les réseaux locaux (Local Area Network=LAN) encore appelés réseaux de distribution ou réseaux d'accès. Ils représentent le dernier maillon et finissent d'acheminer les informations à l'abonné. Ils sont donc plus courts et moins gourmands en capacité.

Tous ces maillons doivent répondre à la demande croissante de capacité des réseaux de télécommunication, quel que soit le type de service utilisé.

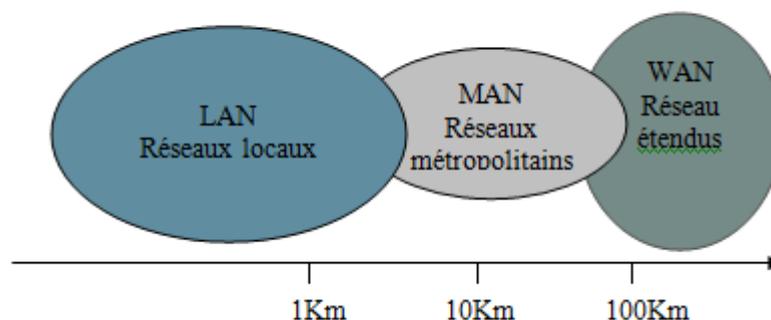


Figure I.1 : classification des réseaux selon leur taille.

I.2.1. Réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network)

Il est déployé à l'échelle d'un pays ou d'un continent, et ses nœuds sont de très grands centres urbains. Ce type de système :

- Comprend des systèmes terrestres ou sous-marins ;
- Véhicule des données à grande vitesse sur des longues distances de plus de 100 km ;
- Peut utiliser des répéteurs pouvant régénérer le signal optique. Ces répéteurs sont constitués par des régénératrices optoélectroniques 3R (Retiming, Rechipping, Regenerating) et par des amplificateurs optiques.

Réseaux terrestres

- Ont une distance de quelque centaines de km et reliant de grands centres urbains, reliés par des multiplexeurs d'insertion extraction ;
- Utilise une topologie propre au SDH avec des boucles en double anneau permettant en cas de panne d'un anneau de diriger les signaux d'un autre ;
- Sont flexibles vis-à-vis de la demande ; actuellement à 2.5 Gb/s, ils peuvent être augmentés, à l'aide du DWDM sur N canaux, à $N \times 2.5$ Gb/s ou $N \times 10$ Gb/s.

Réseaux sous-marins

- Peuvent atteindre plusieurs milliers de km ;
- Peuvent aussi relier des îles ou des pays d'un même continent. De plus il est moins coûteux de poser des câbles sous-marins que des câbles enterrés ;
- Utilisent la 3^{ème} fenêtre de la fibre optique à $\lambda=1,55\text{nm}$ ou l'atténuation est la plus faible.

Les liaisons transocéaniques plus anciennes sont de type point-à-point ; dans les systèmes les plus modernes, on adopte la structure en anneau de façon à pouvoir réorienter les signaux en cas de défaillance d'une voie.

I.2.2. Réseau métropolitain (Man, Metropolitan Area Network)

C'est un réseau qui dessert une grande ville et ses environs. Ce type de réseau :

- a une longueur qui varie entre 1 à 100 km.
- a un grand degré de connectivité.
- Utilise des anneaux métropolitains qui se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant.
- Doit, à la différence du réseau longue distance, prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers.
- Mêlent les trafique de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou autre encore.les amplificateurs optiques sont essentiels pour les amplifications de ce type de réseau.
- Est souvent équipé par des cartes transpondeuses multi-débits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mb/s à 2.5Gb/s.
- Utilise le DWDM, offrant les mêmes avantages que le système à longues distances.
- Les distances étant plus faibles, nécessitent moins d'amplificateurs optiques, se permet d'étendre la bande spectrale au delà des amplificateurs dopés l'erbium et réduit les problèmes de dispersion.

I.2.3.Réseau local (LAN, Local Area Network)

C'est un réseau individuel s'étend généralement sur une zone géographique unique et fournit des services et des applications aux personnes au sein d'une structure organisationnelle commune, telle qu'une entreprise, un campus ou une région.

Aussi appelé réseau d'accès ou de desserte, ce réseau est constitué par une partie en fibre entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné.

I.3. notions générales sur l'optique

I.3.1. la lumière

La lumière est l'ensemble des ondes électromagnétiques visibles par l'œil humain, c'est-à-dire ont des longueurs d'ondes de 380 nm (violet) à 780 nm (rouge). La lumière est intimement liée à la notion de couleur.

La lumière se déplace en ligne droite dans tout milieu transparent, en particulier le vide ou l'air. Elle peut en revanche changer de trajectoire lors du passage d'un milieu à un autre.

Dans le vide, la lumière se déplace à une vitesse égale : $c = 3.10^8$ m/s.

I.3.2. Indice de réfraction (indice optique)

Par définition l'indice de réfraction « n » d'un milieu est égal au rapport de la célérité « C » de la lumière dans le vide à celle de la lumière dans ce milieu.

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu\varepsilon} \quad \text{I.1}$$

I.3.3. la longueur d'onde

On peut également dire qu'elle est égale à la distance parcourue par l'onde pendant une période :

$$\lambda = \frac{v}{f} = vt \quad \text{I.2}$$

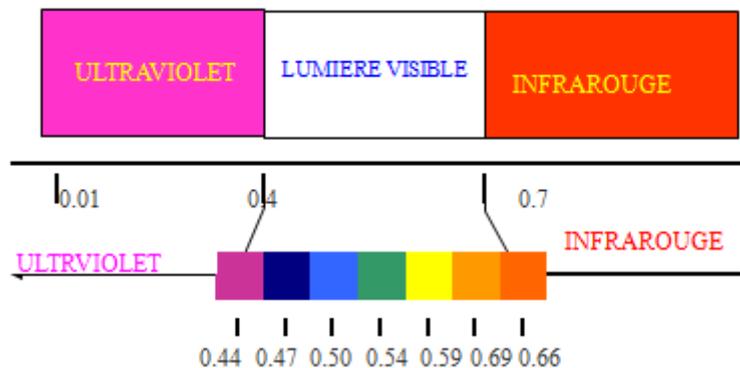


Figure I.2 : Correspondance couleur longueurs d'ondes dans le champ de la lumière visible.

I.3.4. Théorèmes optiques

- **Loi de réflexion (1^{ère} loi de Descartes)**

La réflexion est le renvoi de la lumière lors d'une rupture d'impédance (interface). la loi de Descartes précise que : « le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ; l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion ».

- **Loi de réfraction (2^{ème} lois de Descartes)**

La réfraction est la déviation subite par les rayons lumineux à la traversée de l'interface séparent deux milieux transparents. La Loi de Descartes stipule que : « le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence ; il existe un rapport constant entre le sinus des angles d'incidences et de réfraction i et i' , rapport qui représente l'indice « n » du deuxième milieu par rapport au premier ».

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \quad \text{I.3}$$

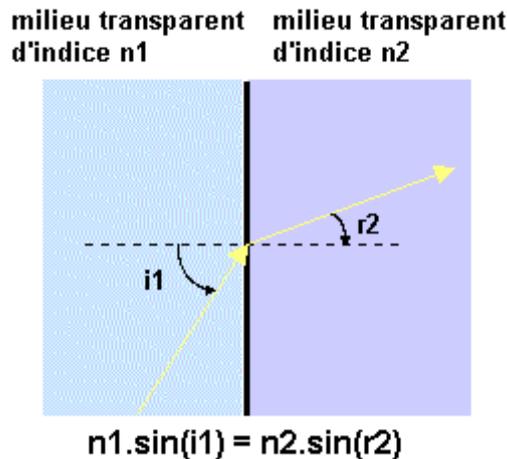


Figure I.3 : la relation entre l'angle du rayon incident et celui du rayon réfracté.

I.4.L'architecture d'une liaison par fibre optique

L'architecture d'une liaison, quelque soit le niveau du réseau auquel elle est destinée, est composée des mêmes briques de base, à savoir un émetteur, un module de transmission et un récepteur.

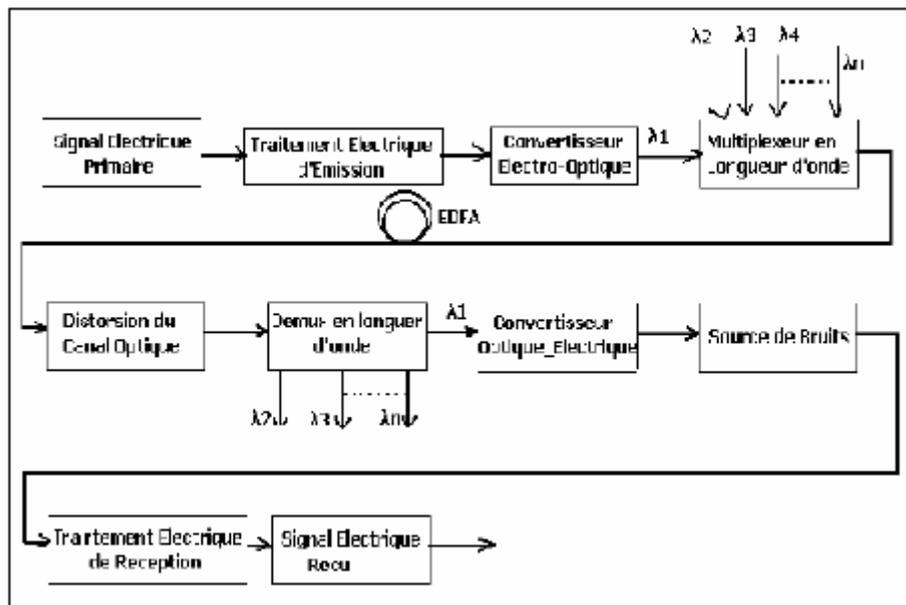


Figure I.4 : Synoptique général d'un système de communication par fibre optique.

Pour chacun de ces éléments constitutifs d'une liaison sur fibre optique, nous décrivons leur rôle et leur fonctionnement. Nous débutons par la fibre optique, élément essentiel puisqu'elle permet le transport de l'information et elle est à l'origine des efforts réalisés, par la suite nous poursuivons par la description de l'émetteur (laser, modulateur, multiplexeurs, démultiplexeurs...), pour enchaîner sur les blocs constituant le récepteur (photodiode, amplificateur électrique, filtre électrique, circuit de remise en forme). Enfin, nous terminons

en détaillant les éléments pouvant être utilisés en ligne, tels que les amplificateurs, en vue d'une amélioration de la qualité du signal transmis ou de l'augmentation des distances.

I.4.1. La fibre optique

La fibre est un guide d'onde qui exploite les propriétés de réfraction de la lumière. Elle est constituée d'un cœur cylindrique en matériau transparent d'indice de réfraction n_1 , entouré d'une gaine concentrique constitué d'un matériau ayant un indice de réfraction n_2 inférieur à n_1 . Le diamètre du cœur varie de 8-10 μm à 50 μm selon le type de fibre. Celui de la gaine est de 125 μm .

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée.

Une fibre optique est souvent décrite selon des paramètres : La différence d'indice normalisé Δ , qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine :

$$\Delta = \frac{n_c - n_g}{n_c} \quad \text{I.4}$$

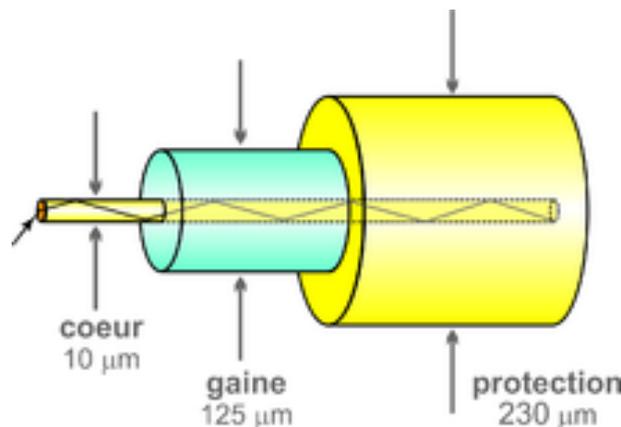


Figure I.5: structure de la fibre optique

I.4.2. Types de la fibre optique

Les différents rayons lumineux issus de la source sont guidés par le fil de verre en suivant un principe de réflexion interne qui se produit au niveau de la frontière entre le cœur et la gaine. Si la réflexion ne laisse subsister qu'un seul rayon, car le diamètre du fil est très réduit, alors on parle de fibre monomode sinon, lorsqu'il existe plusieurs simultanément, on parle de fibre multimode.

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée :

I.4.2.1. Fibre multimode

Ce sont des fibres dont le cœur a un diamètre grand devant la longueur d'onde utilisée. Elle présente l'avantage de pouvoir propager des rayons ayant des angles d'incidence différents en entrée. Chaque rayon parcourt un trajet différent des autres.

Il existe deux profils différents pour ces fibres:

1. Fibre multimode à saut indice

Elle est constituée d'un cœur transparent d'indice de réfraction « n_1 » et d'une gaine optique en verre d'indice de réfraction « n_2 », avec un changement brusque d'indice de réfraction (saut), cette différence d'indice est d'ordre 1,5.

La gaine optique joue un rôle actif dans la propagation, et ne doit pas être confondue avec le revêtement de protection déposé sur la fibre optique, les rayons ne se propagent pas tous selon le même chemin, ce qui entraîne un étalement des impulsions, risque de chevaucher en sortie de liaison.

Ce type de fibre optique résulte de l'écart important du temps de propagation des différents rayons lumineux et donc un élargissement conséquent du signal d'entrée, la déformation et la dispersion du signal reçu, ce qui limite la bande passante.

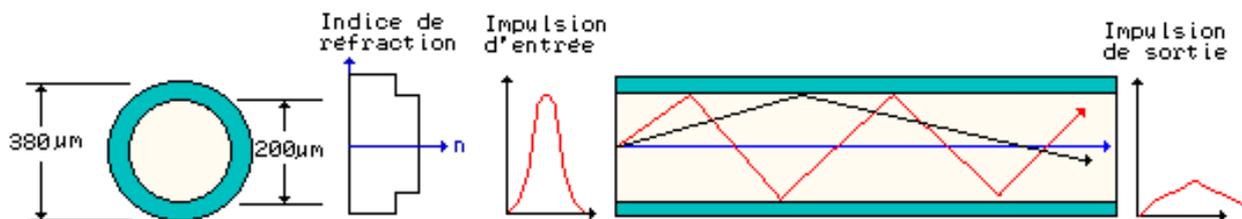


Figure I.6 : Fibre multimode à saut indice.

1. Fibre multimode à gradient d'indice

Dans ce type de fibre le cœur est constitué de plusieurs couches de verre successives des matériaux dopés (SiO_2) ayant un indice de réfraction proche. L'indice de cœur diminue progressivement du centre vers la périphérie (gaine), le guide est cette fois dû à l'effet du gradient d'indice, la trajectoire d'allure sinusoïdale.

La gaine n'intervient pas directement, mais élimine les rayons trop inclinés, donc l'étalement des impulsions est nettement plus faible. Pour atténuer la dispersion modale, on a cherché à augmenter la vitesse des trajets les plus longs.

Pour y parvenir, il faut faire varier la valeur de l'indice en faisant décroître sa valeur du cœur vers la gaine. Ces fibres ont un débit plus important et donc une largeur de bande passante plus importante

(200-1500Mhz par Km), elles sont les plus utilisées pour les liaisons informa.

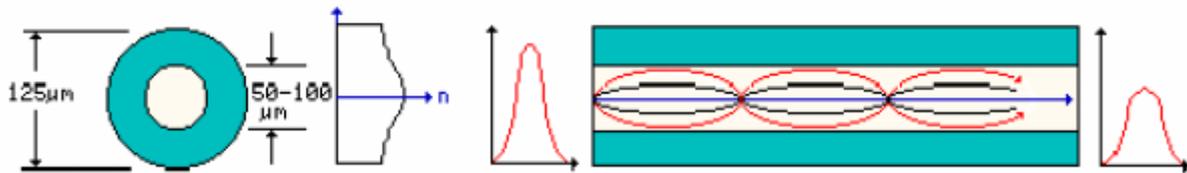


Figure I.7 : fibre multimode à gradient d'indice.

I.4.2.2.Fibre monomode

Ces fibres monomodes sont caractérisées par un diamètre de cœur de seulement quelques micromètres (le cœur monomode est de 9 μm pour le haut débit), afin de ne laisser se propager qu'un seul mode unique, à savoir le mode HE₁₁. Le nombre de modes se propageant dans la fibre optique est donné par la relation suivante :

$$N_m = \frac{2.v}{\pi} = \frac{4a}{\lambda} ON \quad 1.5$$

Avec :

v : la fréquence normalisée.

ON : l'ouverture numérique.

Dans ce cas, le rayon lumineux est guidé par la fibre, il n'y a pas de réflexion sur la gaine optique.

Seuls les rayons placés dans l'axe du cœur de la fibre peuvent être transmis. Ceci nécessite une grande puissance lumineuse de l'émetteur

La dispersion modale est totalement supprimée. D'où une bande passante très importante.

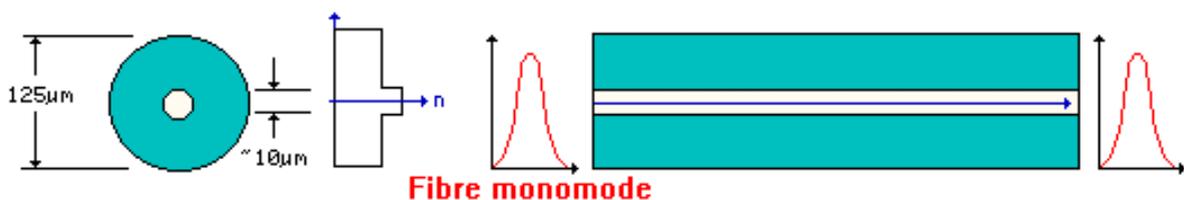


Figure I.8 fibre optique monomode.

I.4.2.3. Propagation de la lumière dans une fibre

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre sans perte, en empruntant un parcours en zigzag.

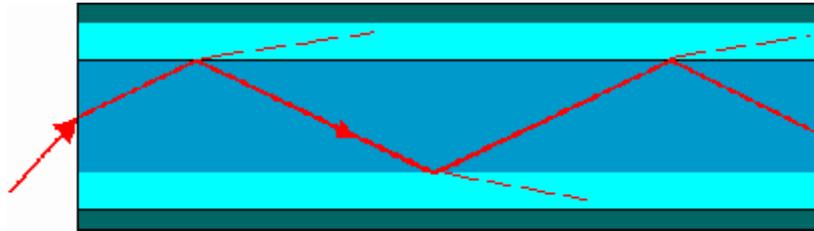


Figure I.9 Chemin parcouru par un rayon lumineux dans une fibre optique.

La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée.

I.4.3. Caractéristiques de la fibre optique

I.4.3.1. La bande passante

La bande passante est l'un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique.

La bande passante est la fréquence maximum pour laquelle le signal transmis subit un affaiblissement de 3 dB. Elle s'exprime en Mhz.km, et est inversement proportionnelle à la longueur de la liaison.

I.4.3.2. ouverture numérique

Le second est l'ouverture numérique de la fibre (N.A. pour Numerical Aperture), Concrètement, ce paramètre est le sinus de l'angle d'entrée maximal de la lumière dans la fibre pour que la lumière puisse être guidée sans perte. Cet angle est mesuré par rapport à l'axe de la fibre.

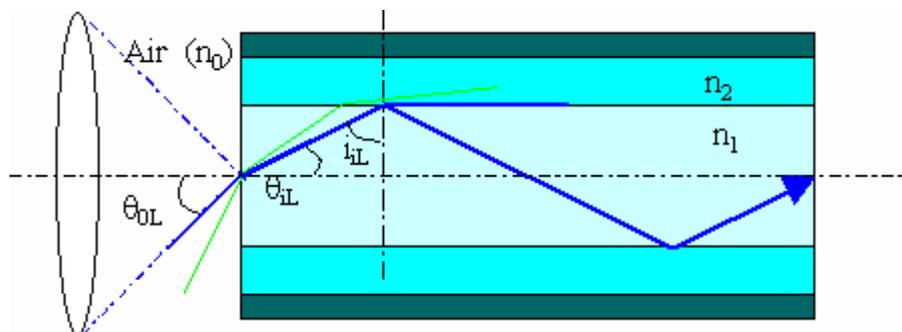


Figure I.10. Définition de l'ouverture numérique.

$$ON = \sin(\theta_{OL}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Afin de faciliter l'injection de la lumière dans la fibre à l'entrée, on a intérêt à avoir l'angle limite θ_{OL} le plus grand possible. Ceci s'obtient pratiquement en choisissant des indices n_1 et n_2 très proches.

I.4.3.3. Atténuation

Dans une fibre optique réelle on constate que toute l'énergie lumineuse entrante n'est pas récupérée en sortie, il y a des phénomènes de dispersion, cause de cette perte (ou atténuation) qui, dans une fibre de télécommunication, pour longueur d'onde optimale de 1550nm, atteint environ 0,17dB/Km contre 2,5 dB/Km à 850nm et 0,3dB/Km pour 1300nm.

1. Atténuation totale

Si l'on injecte une puissance lumineuse P_0 à l'extrémité d'une fibre, on ne récupère qu'une fraction P_1 de P_0 à l'autre extrémité. L'atténuation de la fibre est le rendement exprimé en décibel sous la forme :

$$A \text{ (dB)} = 10 \log (P_1/P_0) \quad 1.7$$

2. Mécanismes de l'atténuation

Deux phénomènes, explicités ci dessous et dont les effets se cumulent, participent à l'atténuation de la lumière par la fibre :

- l'absorption P_3 .
- la perte P_2 , due à la diffusion de RAYLEIGH, aux imperfections de la fibre, au couplage des modes ou venant de sa mise en œuvre (câblage par exemple).

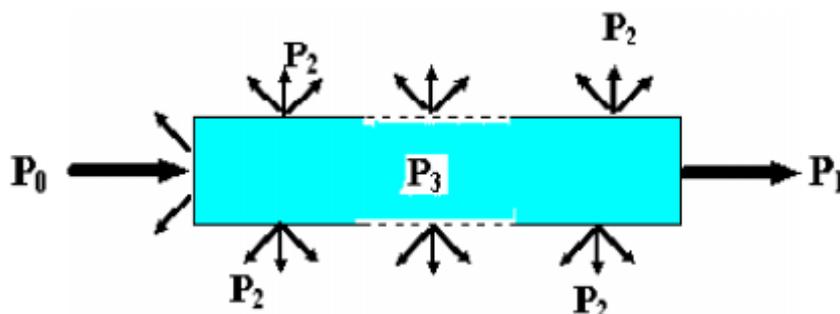


Figure I.11. Pertes dans la fibre.

P_0 = puissance injectée dans la fibre.

P_1 = puissance récupérée à l'autre extrémité.

P_2 = puissance diffusée.

$P_3 = P_0 - (P_1 + P_2)$ puissance absorbée par la fibre.

I.4.3.4. Les fenêtres de transmission

En transmission optique on définit 3 fenêtres de transmission (figure I.12) :

Les fenêtres 1 et 2 résultent d'un compromis technico-économique entre l'atténuation apportée par la fibre et les composants optoélectroniques utilisés en fonction des applications.

La fenêtre 3 correspond à l'atténuation minimale mais exige des composants optoélectroniques très performants, elle est réservée aux applications à haut débit et longues distances.

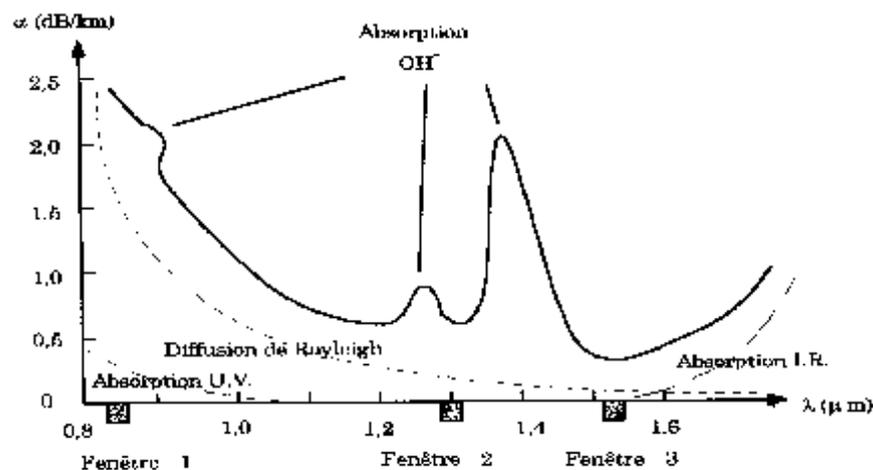


Figure I.12. Atténuation dans la fibre optique en fonction de la longueur d'onde.

I.4.3.5. Pertes dans la fibre :

1. Pertes d'épissurage :

La réalisation de fibres de plusieurs km résulte toujours de la mise bout à bout de tronçons plus courts. A chaque jonction, le raccordement entre deux tronçons va présenter 4 types de défauts tous combinables entre eux (figure : I.13 (a))

1.1. Pertes liées à l'écart axial :

P_{ax} sont données en fonction de la distance (l) entre les deux fibres, de l'indice de réfraction des fibres (n), du diamètre des fibres (D) et de la longueur d'onde utilisée (figure I.13 (b)) :

$$P_{ax} (dB) = -10 \log \left(1 + \left(\frac{l \cdot \lambda}{2 \pi n D} \right)^2 \right) \quad I.8$$

1.2 Pertes liées à l'écart radial :

P_{rad} sont données par l'expression :

$$P_{rad} (dB) = 10 \log \left(\exp \left(- \frac{d^2}{D^2} \right) \right) \quad I.9$$

Où d est la distance entre les axes des deux fibres (figure I.13 (d)).

1.3 Pertes liées à l'écart angulaire :

P_{ang} sont données par l'expression (figure : I.13 (c)) :

$$P_{ang} (dB) = 10 \log \left(\exp \left(- \left(\frac{\pi \cdot nD \alpha}{2} \right)^2 \right) \right) \quad I.10$$

1.4 .Pertes de Fresnel

P_f sont liées à l'écart entre d'indice de la fibre (n_1) et celui du milieu où baigne la face d'entrée de la fibre (n_0). Elles sont données par l'expression :

$$P_F = 10 \log_{10} \left(\frac{4 n_0 n_1}{(n_0 + n_1)^2} \right) \quad I.11$$

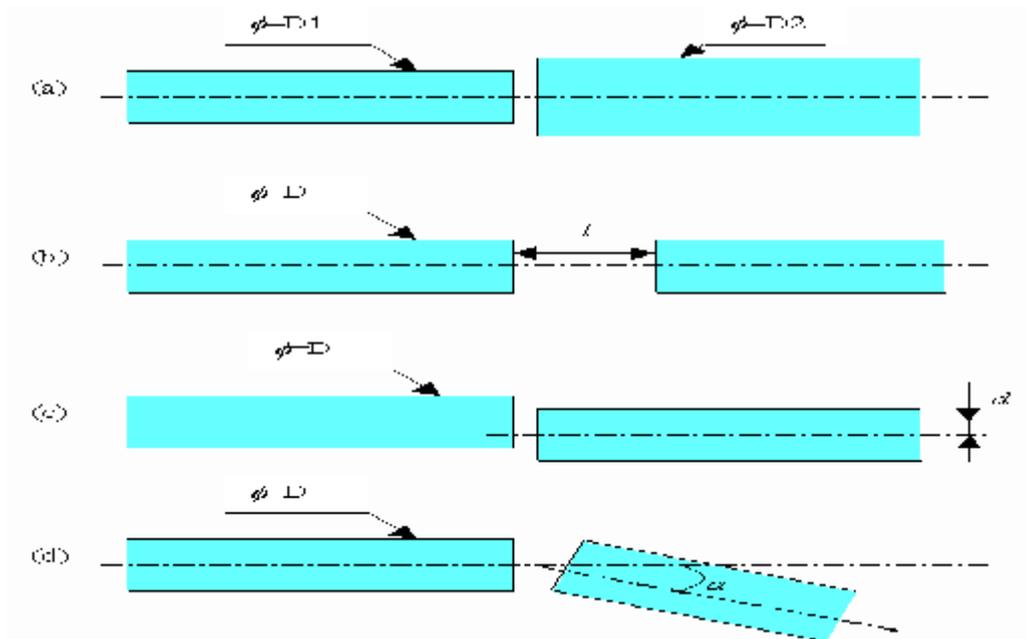


Figure:I.13 Origine des pertes d'épissage.

2. pertes intrinsèques

Elles dépendent de la nature physicochimique de la fibre (la nature et la structure de la matière constituant la fibre).

2.1. Pertes par absorption moléculaire

Elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés dans celle-ci.

2.2. Perte par diffusion

Elle est causée par la variation de concentrations et de densités des dopants utilisés et les défauts de structure (bulle, impuretés, microfracture). En fonction de la taille de ces défauts, on parlera de diffusion de Rayleigh. (Défaut dimension petite devant λ).

2.3. Perte par affaiblissement différentiel

Elle est causée soit par la variation du diamètre de cœur, soit par la variation de l'ouverture numérique.

2.4. Perte par couplage de mode

C'est l'échange d'énergie entre les différents modes, elle est généralement due aux microcourbures présentes dans la fibre.

3. Pertes extrinsèques

Elles dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composant.

3.1. Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres

Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.

3.2. Les microcourbures

Elles sont des courbures très faibles, incontrôlables dues au conditionnement des fibres dans les câbles.

3.3. Les raccordements

Les fibres sont toujours utilisées par tronçon de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer des pertes de raccordement.

4. Dispersion

La dispersion du signal optique dans une fibre optique crée de la distorsion aussi bien en transmission analogique que numérique, ce phénomène de dispersion se traduit par un

élargissement des impulsions au cours de leur propagation, ce dernier limite la bande passante du canal de transmission.

Il existe deux types de dispersion :

4.1. Dispersion chromatique (intramodale)

La dispersion chromatique, caractérise la vitesse du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différents ne se propagent pas à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310.

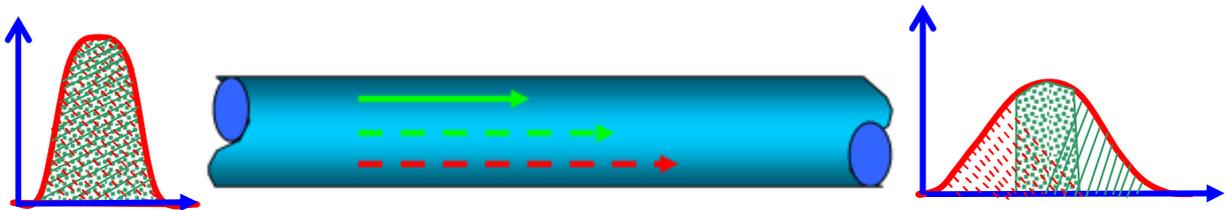


Figure I.14 : la dispersion intramodal de la fibre monomode à SI.

4.2. Dispersion modale (intermodale)

Dans une fibre optique, les différents rayons lumineux ne suivent pas le même trajet (mode) ; celui-ci dépend de l'angle d'indice à l'interface air-verre, le mode le plus court sera celui qui suit parfaitement l'axe optique, par contre le plus long sera celui ayant l'angle d'incidence d'interface cœur-gaine le plus grand.

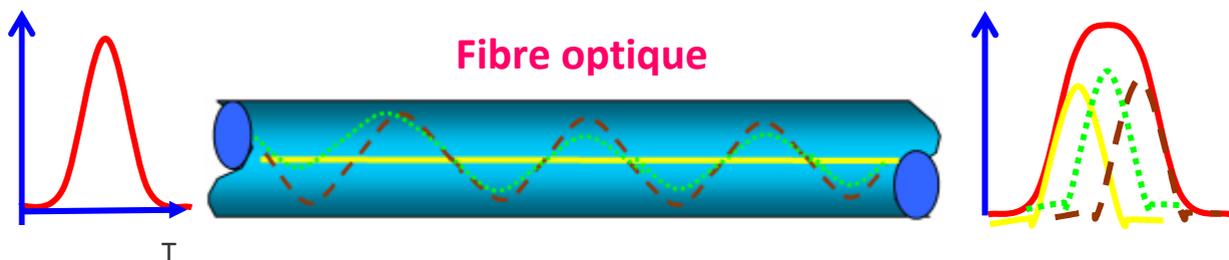


Figure I.15 la dispersion intermodale de la fibre monomode à GI.

L'élargissement de l'impulsion due à la dispersion modale résulte de la différence des temps de propagation des différents modes qui se propagent dans une fibre optique. L'impulsion à la sortie (réception) est la somme des impulsions qui se propagent.

5. Effets non linéaires dans les fibres NL

Bien que le coefficient NL soit très petit dans la silice, les effets NL sont observables pour des puissances de l'onde dans la fibre relativement faibles. Ceci à cause des très petites dimensions des fibres (cœur) et des pertes très faibles (<1dB/km).

Les effets NL se voient surtout dans les fibres monomodes, et se traduit par :

- Une atténuation du signal en fonction de l'augmentation de $T_{\text{Transmise}}$
- Une création de nouvelles longueurs d'onde à partir du signal.

Bien souvent la fibre devient impropre à la transmission.

Une figure de mérite pour l'efficacité des effets NL dans un tel milieu est le produit IL_{eff} où I est l'intensité optique et L_{eff} la longueur effective de la zone d'interaction (c'est-à-dire la longueur du milieu dans lequel on a tenu compte des pertes). Si la lumière est focalisée en un point de rayon ω_0 , alors :

$$I = \frac{P}{\pi \omega_0^2} \quad \text{I.12}$$

Avec P puissance optique incidente.

6. Réponse électronique :

✓ Effet Kerr Optique

Sous l'action d'un champ lumineux intense, l'indice de réfraction d'un milieu transparent accuse une variation considérée en première approximation comme locale et instantanée. Cette modification provient de la création de dipôles induits dans le matériau par déplacement du centre de gravité des charges électroniques négatives par rapport à celui des charges nucléaires positives. Ce phénomène non linéaire est connu sous le nom d'effet Kerr optique.

✓ Effet Raman

- Diffusion Raman spontané : générations d'ondes Stokes et anti-Stokes par interaction lumière-phonon.

- Diffusion Raman stimulé : l'onde Stokes, continuellement alimentée en photons, est amplifiée et la puissance de l'onde Stokes devient supérieur à P_{pompe} . Elle entraîne une diminution (atténuation) de l'onde pompe.

- La puissance critique à partir de laquelle apparaît le phénomène vaut :

$$P_r = \frac{16A}{G_R L} [W] \quad \text{I.13}$$

Où A : section de guidage \approx section de cœur.

G_R : gain Raman $\approx 10^{-13}$ m/W dans la silice

L : longueur d'interaction.

I.4.4. utilisation de différentes fibres optiques

Fibre monomode	fibre multimode
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Haut débits, longues distances	Réseaux locaux

Tableau. I.1. utilisation des différentes fibres optiques

I.4.5. Avantages et inconvénients des fibres optiques

1. Avantages

Ils sont nombreux, on peut les classer comme suit :

-performances de transmission : très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux ; elles permettent aux systèmes d'avoir une portée et une capacité supérieures à celles des câbles conducteurs.

-avantage de mise en œuvre : très petite taille, grande souplesse, faible poids appréciables aussi bien en télécommunication que pour le câblage en informatique, aéronautique, application industrielles.

-sécurité électronique : isolation total entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous forte tension.

-sécurité électromagnétique : la fibre optique n'est pas sensible aux parasites n'en crée pas elle-même.

-avantage économique : contrairement à l'idée encore a, le cout globale d'un système sur fibre optique est plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

2. Inconvénients

- la fibre ne permet pas le transport d'énergie.
- Les répéteurs doivent être alimentés séparément soit localement soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.

- Les techniciens des installations doivent protéger leurs yeux : il est indispensable de porter des verres de protection infrarouge pour travailler de près sur un dispositif en fonctionnement.
- Perte de raccordement entre différentes composant optiques du système.

I.4.6.Le module d'émission

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (laser, modulateur, driver). Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données.

I.4.6.1. le laser

Le laser (Light Amplification by Stimulated Emission Radiation) est un dispositif qui émet de la lumière grâce au phénomène d'émission stimulée. Le laser est composé de trois éléments essentiels :

Les lasers à semi-conducteur sont constitués :

- d'un milieu amplificateur qui utilise la propriété d'émission stimulée de photons dans une jonction PN ou l'inversion de population entre les bandes de valence et conduction est assuré par une injection de charges électriques.
- D'une cavité résonante permettant de sélectionner les modes d'oscillations.

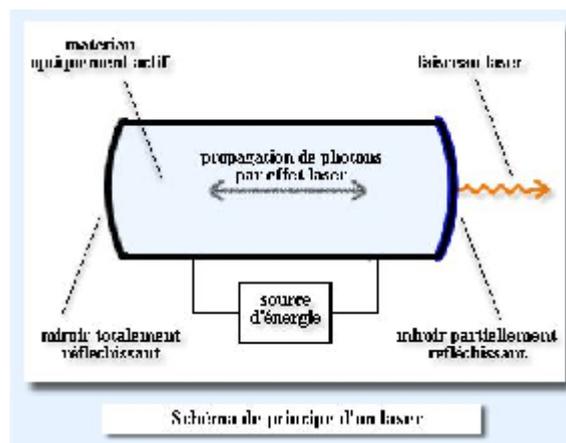


Figure I.16. Le principe de fonctionnement d'un laser

1. un milieu amplificateur

Le milieu amplificateur est un matériau qui permet de compenser les pertes que la lumière subit au fur et à mesure qu'elle effectue des allers-retours dans la cavité optique. Le gain est souvent créé par émission stimulée.

1.1.émission spontanée

Les électrons et les trous ayant une durée de vie se recombinent dans un semi – conducteur à gap direct en émettant un photon (recombinaison radiative).

- Le trou occupe un niveau d'énergie E_2 dans la bande de valence.
- L'électron occupe un niveau d'énergie E_1 dans la bande de conduction.

Le photon et de l'énergie :

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad \text{I.14}$$

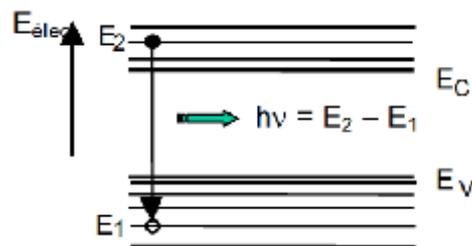


Figure I.17 : émission spontanée

1.2. Absorption et émission stimulée

Nous allons considérer un système constitué d'atomes isolés identiques de densité atomique N , chaque atome possédant entre autre, deux niveaux discrets d'énergie E_2 et E_1 , entre lesquels les électrons vont effectuer des transitions.

1.2.1. Absorption

Un photon peut fournir son énergie à un électron situé sur le niveau E_1 , ce qui provoque une transition. E_1 vers E_2 photon disparaît (il est absorbé).

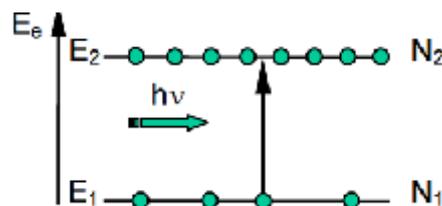


Figure I.118 : absorption

1.2.2. Emission stimulée

En supposant qu'un électron soit présent sur le niveau E_2 , le passage d'un photon peut déclencher une transition électronique 1 2

$E_2 \rightarrow E_1$ qui s'accompagne de l'émission d'un photon identique au photon incident (même Fréquence et même phase).

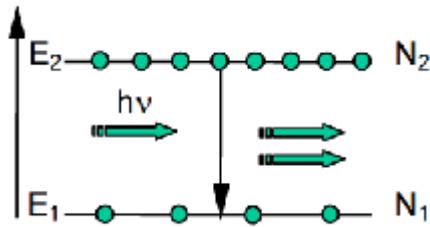


Figure I.19: émission stimulée.

1.3. La cavité résonante

La cavité résonante (appelée aussi résonateur optique) est constituée de deux miroirs situés en regard l'un de l'autre, placés sur un même axe ; ces miroirs peuvent être plans et parallèles entre eux, comme dans le cas d'un interféromètre de type Fabry-Pérot; le miroir réflecteur est totalement réfléchissant ; le miroir coupleur est partiellement réfléchissant pour permettre à une fraction de la lumière qui constitue le faisceau laser, de sortir de la cavité.

I.4.6.2. la diode laser

Les diodes lasers sont des composants à base de semi-conducteurs contenant un milieu amplificateur, une cavité résonante. L'inversion de population est réalisée par injection de porteurs (électrons et trous).

La diode laser se caractérise par l'étroitesse du spectre en longueur d'onde qu'elles émettent. Le spectre émis se compose de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale.

I.4.6.3. Modulation

Un modulateur est dispositif capable de modifier les paramètres d'ondes optique (amplitude) en fonction du signal de commande. Deux méthodes sont utilisées pour moduler les ondes optiques ; la modulation direct et la modulation externe :

1. modulation directe

La modulation directe est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelque Gbits/s, selon la qualité du laser. Mais au delà de 5 Gbits /s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité de transmission correcte.

2. Modulation externe

Les conséquences de l'effet conjugué de la dispersion chromatique (effet chirp) et de la modulation de fréquence parasite excluent d'emblée la modulation directe des lasers pour les systèmes de transmission à grande capacité. On a alors recours à des modulateurs externes, en particuliers des modulateurs à électro-absorption

I.4.7. module de réception

Le récepteur optique est un dispositif qui permet d'extraire l'information du signal électrique reçu.

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des récepteurs optiques devant remplir certaines conditions :

- une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- Une grande bande passante (réponse à grande vitesse)
- Bruit minimum (courant d'obscurité le plus faible possible).
- Grande fidélité de reconstitution du signal.
- Bonne stabilité en température.

I.4.7.1. Conversion optique/électrique

L'interface de réception dans une liaison à fibre optique est chargée de convertir le signal lumineux reçu (photon) en signal électrique par effet photoélectrique. Ce rôle est tenu par le photodétecteur qui se comporte comme un capteur de photons et un générateur de courant.

1. Principe d'un photodétecteur

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur, ils vont provoquer le passage d'électron d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction (seul les photons d'énergie ($h\nu$) supérieur à e_g (Gap) pourront être détectés).

Le photon a donc laissé place à une paire électron-trou. Une différence de potentiel est appliquée en inverse afin d'empêcher les électrons de retomber dans leur état le plus stable. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photocourant.

2. Les composants de réception

La fonction des composants de réception optique, est l'inverse de celle des émetteurs, donc elle convertit le flux qui les atteint en énergie électrique.

Les photodétecteurs les plus utilisés pour les applications à fibre optique sont : les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanches (PDA).

2.1. Les photodiodes PIN

Ce type de photodiode, polarisée en inverse est réalisée à partir de trois couches de semi-conducteur, deux couches fortement dopées P et N entre lesquelles existe une couche de grande résistivité (intrinsèque) où il existe très peu de charges mobiles.

Dans la région intrinsèque, les photons incidents créent des paires électrons/trous qui sont dissociés par le champ électrique intense qui règne dans cette zone. Dans les régions P et N,

seuls les photons proches de la région intrinsèque sont rapidement dissociés et collectés aux deux électrodes.

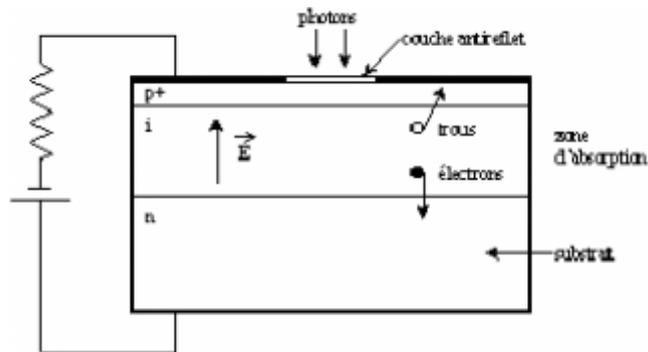


Figure I.20 : principe d'une photodiode PIN

2.2. Photodiode à avalanches (PDA)

Lorsque le champ électrique établi dans la zone déserte est suffisamment intense (polarisation en inverse), les porteurs soumis à ce champ peuvent atteindre l'énergie d'ionisation du matériau et provoquer la rupture des liaisons covalentes, il y'aura dans ce cas création d'autres paires électrons/trous qui dissociés puis accélérés par le champ électrique interne vont accentuer le processus d'avalanche.

Tout comme pour les photodiodes PIN, il existe plusieurs structures possibles. Voici à titre d'exemple le cas d'une structure dans le Silicium. Elle résulte d'un compromis entre une zone d'absorption large, et une jonction très abrupte pour obtenir un très fort champ électrique. C'est le principe de la structure $p\pi pn$.

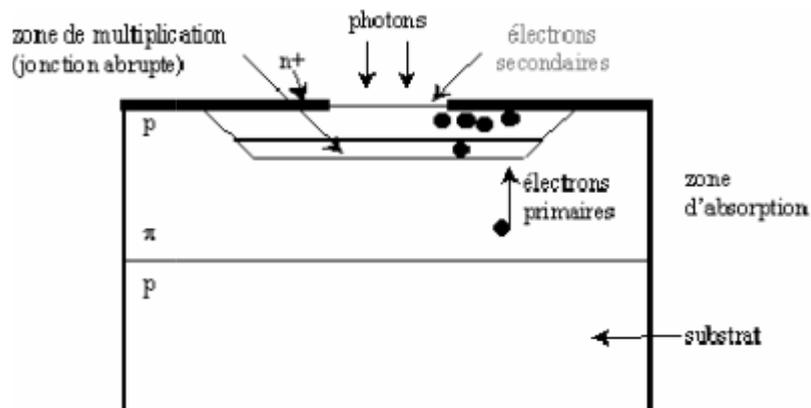


Figure 21 : Structure d'une photodiode à avalanche P π pn.

I.4.8. l'amplificateur optique

L'amplificateur optique demeure actuellement un élément important dans l'amélioration des performances d'un système à transmission à fibre optique. Ces systèmes sont les seuls actuellement, capables de répondre par leur capacité élevée à la demande Croissante du flux de données et particulier les applications multimédia grand public. Cette évolution de ces systèmes a connu une véritable révolution avec la mise au point et le développement industriel des amplificateurs optiques. Mais, cette révolution s'est accrue avec l'association de l'amplificateur optique et le multiplexage en longueur d'onde (WDM). L'amplificateur optique a permis au multiplexage un meilleur contrôle des pertes, mais surtout a fournir un avantage économique décisif par sa capacité à amplifier un grand nombre de longueurs d'onde sans distorsion du signal utile.

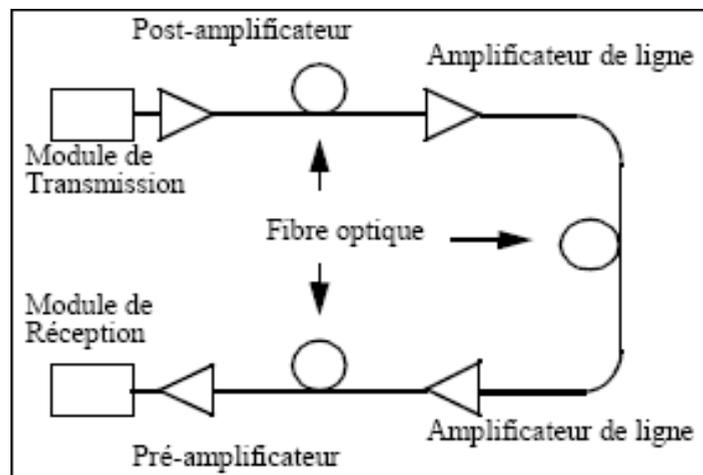


Figure 22 : l'amplificateur optique.

I.4.8.1.L'amplificateur à fibre optique dopée à l'erbium(AFDE)

Le phénomène d'amplification qui se situe principalement au niveau sa fibre dopée par une petite quantité d'ions Erbium est basé sur le mécanisme d'émission stimulée. L'erbium est le plus couramment utilisé, car il fournit une transition amplificatrice à la longueur d'onde de 1550nm.

Les électrons associés aux ions erbium peuvent avoir différentes énergies, L'énergie lumineuse externe (provenant du laser pompe) de longueur d'onde (980nm) correspondant à l'énergie de la transition entre le niveau fondamental (état fondamental) et le niveau Haut (état supérieur), est absorbée et peuple le niveau supérieur d'ions d'erbium. Cet état ayant une durée de vie très courte, ces ions tendent à revenir vers un état d'énergie plus faible. Ils retombent dans un premier temps au niveau métastable (n+1), sans émission radiative. Puis le retour vers l'état stable n, avec émission spontanée ou sous l'action des photons incidents donnant l'émission stimulée.

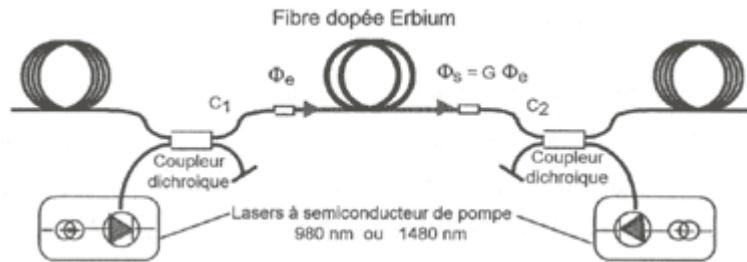


Figure I.23 : Amplification erbium

I.4.8.2. Amplificateur à semi-conducteurs (AOSC)

Dans un amplificateur à semi-conducteur l'amplification repose sur le phénomène d'émission stimulée. Le signal se propage dans un guide (semi-conducteur) qui présente un gain d'une source extérieure (courant injecté) qui vient créer l'inversion de population. Les photons d'émission stimulés viennent s'ajouter au signal et l'amplifient, au même temps d'autres photons sont émis de manière non cohérente avec le signal : ils constituent l'émission spontanée.

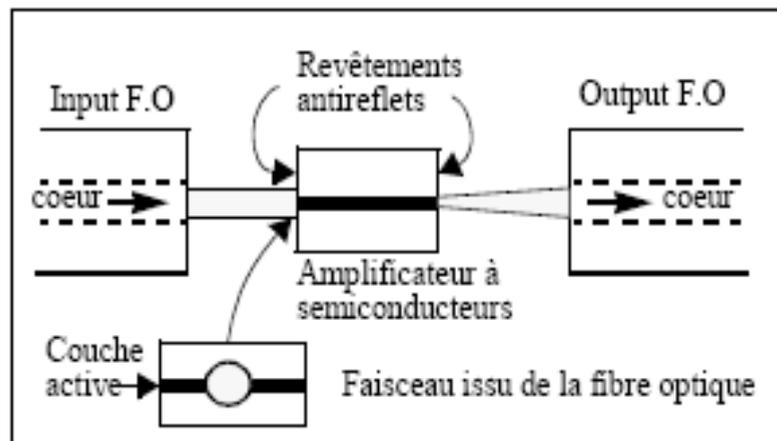


Figure 24 : Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteurs.

I.4.9. Les filtres optiques

Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. La séparation spectrale est réalisée en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. On caractérise donc le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de fréquences (longueurs d'onde) pour lequel il laisse passer la lumière.

Conclusion

Nous avons vu que les fibres optiques possèdent de nombreuses qualités pour transmettre une grande quantité d'informations à grande distances. Plusieurs de leurs défauts ont été énumérés comme :

- la dispersion chromatique, dispersion modale de la polarisation.

-le bruit du récepteur et celui apporté par les amplificateurs en ligne.

Des solutions sont proposées pour les corriger par exemple : des amplificateurs optiques pour réédifier à l'atténuation du signal dans les fibres.

Chapitre II

Transmission numérique

Introduction

Les réseaux de transmission utilisaient des techniques qu'avaient des performances limitées par un certain nombre de phénomènes tels que l'affaiblissement du signal, la distorsion de phase et les bruits. C'est pourquoi des changements profonds de ces techniques analogiques ont conduit à une évolution vers des techniques numériques.

Les signaux numériques sont beaucoup moins gourmands en énergie. Facile à multiplexer et à reconstituer en cas d'affaiblissement. L'une des techniques de transmission numérique sur laquelle repose tous les systèmes de téléphonie moderne est le MIC.

II.1.Principe de la modulation MIC ou PCM

La modulation par impulsion codée (PCM) est une modulation numérique. Par opposition aux modulations analogiques, où l'on essaie de transmettre une image aussi fidèle que possible de l'information source, les modulations numériques commencent par générer une approximation du signal à transmettre.

La transmission se fait ensuite sous la forme de caractères discrets (nombres entiers) que l'on peut aisément coder dans une représentation facile à transmettre à destination du récepteur.

On fait donc une correspondance entre une grandeur physique (signal à transmettre) et une série de nombres entiers sans réalité physique. Cette conversion nécessite trois opérations :

II.1.1.L'échantillonnage

Un échantillonnage du signal à transmettre en vue de réaliser la conversion analogique/numérique. Il consiste à substituer, au signal d'origine, en une suite de valeurs instantanées prélevées sur le signal et régulièrement espacées dans le temps. Seule la valeur du signal à certains instants nous intéresse, en vertu du théorème d'échantillonnage qui dit : qu'un signal peut être entièrement reconstitué à l'aide d'un nombre d'échantillons choisis de manière adéquate.

✓ Théorème de Shannon

Un signal qui ne contient aucune composante de fréquence supérieure à une fréquence maximale F_{\max} (spectre borné) est entièrement déterminé par des échantillons équidistants prélevés avec une fréquence $F_e \geq 2 F_{\max}$. II.1

Avec F_e : fréquence d'échantillonnage.

F_{\max} : fréquence maximale du signal d'origine.

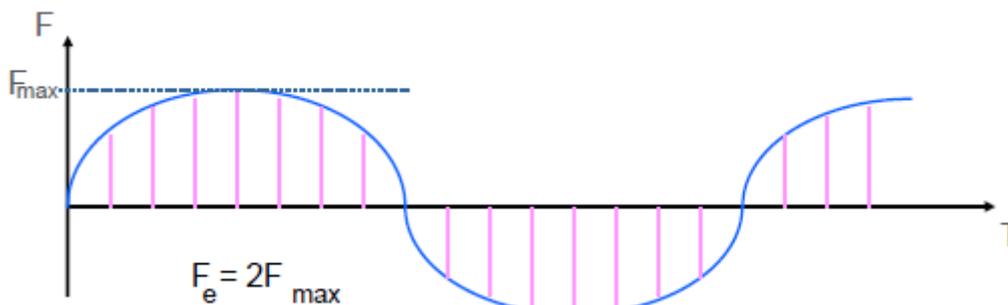


Figure II.1 : échantillonnage.

II.1.2. La quantification

Une quantification des échantillons, qui consiste à faire correspondre à l'amplitude de l'échantillon prélevé un nombre choisi parmi un ensemble fini. La quantification est l'opération fondamentale de toutes les modulations numériques: elle introduit une approximation systématique qui, bien que minime sous réserve d'un choix judicieux des paramètres de quantification, ne peut jamais être éliminée.

✓ Le bruit de quantification

L'opération de quantification est une approximation du signal $V(t)$ d'où en réception, à partir des mots binaires reçus, il n'est pas possible de restituer exactement les échantillons car il faudra disposer d'un nombre infini de plages. La différence entre le signal d'origine et le signal restitué est le bruit de quantification.

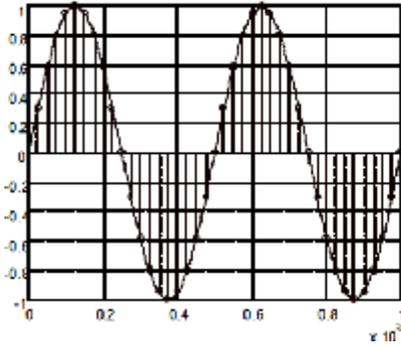


Figure II.2: signal échantillonné.

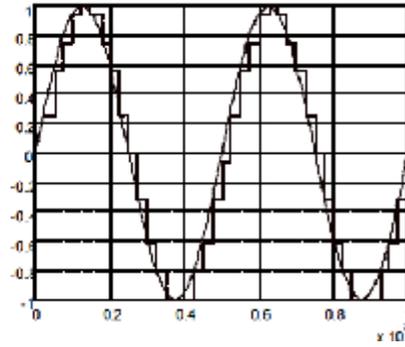


Figure II.3: le bruit de quantification.

II.1.3. La compression

Pour maintenir un rapport signal/bruit constant tout le long de la plage des fréquences d'une voix, on compresse à l'émission et on décompresse en réception.

La compression est une opération purement logique qui consiste à confondre certaines plages obtenues par quantification linéaire. il existe deux lois de compression :

- ✓ **la loi μ** : La loi μ est une loi de compression en vigueur aux ETAT UNIS qui suit la formule mathématique suivante :

$$Y = \ln(1 + \mu x) / (1 + \mu) ; \quad \text{avec } \mu = 100 \text{ ou } \mu = 225. \quad \text{II.2}$$

- ✓ **La loi A** : La loi A est dite européenne est normalisée par l'UIT .on la trouve surtout les matériels numériques. Elle est associée à 2^8 échelon pour l'échelle de quantification. Les équations qui la définissent sont :

$$Y = Ax / (1 + \ln A) ; \quad 0 \leq x \leq 1/A \quad \text{II.3}$$

$$Y = (1 + \ln Ax) / (1 + \ln A) ; \quad 1/A \leq x \leq 1 \quad A = 87,6 \quad \text{II.4}$$

II.1.4. La trame MIC

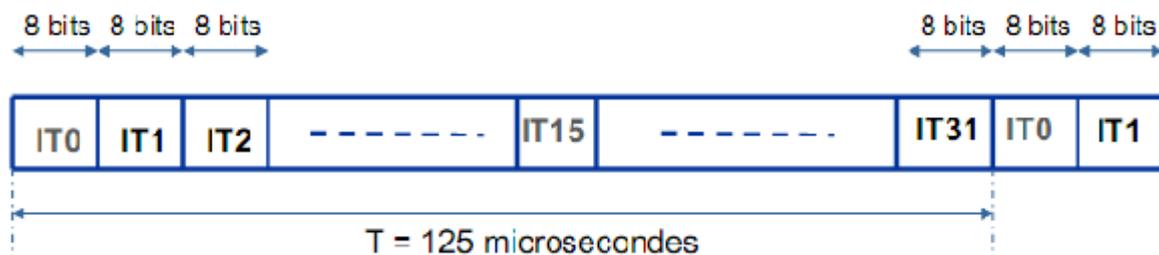


Figure II.4 : trame MIC.

L'échantillon associé à une communication vocale est appelé canal. On a décidé d'insérer chaque seconde sur un circuit physique (c'est-à-dire une paire de fils) 32 canaux formant une structure, appelée trame temporelle MIC, et comportant 32 intervalles de temps successifs numérotés de 0 à 31, correspondant chacun à un canal unidirectionnel et occupant 8 bits (1 octet).

Cette trame de 2.048Kb/s (E1) est normalisée dans G.732. Tandis qu'aux Etats-Unis une trame MIC regroupe 24 canaux de 56Kb/seulement, soit un débit de 1.544Kb/s.

II.2. Le codage

II.2.1. Codes de transmission

Transmettre un signal numérique consiste à reconstituer, à la réception, le signal original et à en extraire l'horloge (phase et fréquence). Cette horloge est utilisée aussi bien pour des opérations de décision que pendant les opérations de conversion (numérique-analogique) et éventuellement lors du multiplexage.

Au cours de sa propagation, le signal numérique subit une détérioration (élargissement de l'impulsion) due au caractère dispersif de la fibre. Cet élargissement se traduit par le phénomène d'interférences inter-symboles

La qualité d'une liaison numérique est caractérisée par le taux d'erreur qui est donné par :

$$TEB = \frac{\text{Nombre de bits erronés}}{\text{Nombre de bits reçus}}$$

II.2.2. Choix du code de transmission

Il dépend d'un certain nombre de paramètres :

- **Spectre en bande de base**

Dans ce type de transmission, l'information est émise sous sa forme initiale (numérique), avec uniquement une amplification et éventuellement une codification. Ce type de transmission est également appelé transmission en bande de base. C'est celle qui est la plus utilisée pour les transmissions courtes (liaisons séries, Ethernet...).

- **Récupération du rythme**

Elle est nécessaire lors de la prise de décision (1 ou 0) et également lors de la régénération du signal numérique. Il faut donc que le code en ligne choisi permette la récupération du signal d'horloge.

- **Contrôle automatique du taux d'erreur**

Pour que ce contrôle puisse se faire sans interruption de la transmission, il faudrait que le code utilisé soit redondant.

II.2.3. Représentation des signaux codés

Parmi les codes les plus utilisés nous citerons les codes NRZ et HDBn :

Pour l'ensemble des différents codes décrits, nous prendrons la même suite binaire afin de permettre la comparaison : 1 0 0 0 1 0 1 1 1 1

II.2.3.1. Codage NRZ (Non Return to Zero)

Principe : très proche du codage binaire de base, il code un 1 par +V, un 0 par -V

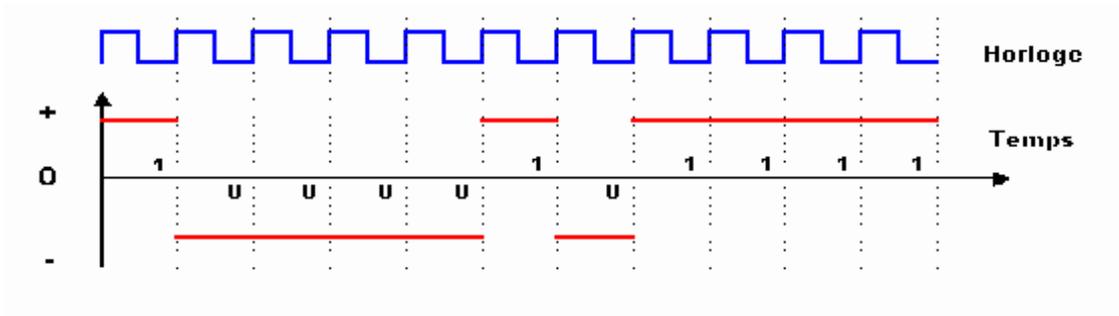


Figure II.5 : le code NRZ.

Le codage NRZ améliore légèrement le codage binaire de base en augmentant la différence d'amplitude du signal entre les 0 et les 1. Toutefois les longues séries de bits identiques (0 ou 1) provoquent un signal sans transition pendant une longue période de temps, ce qui peut engendrer une perte de synchronisation.

Le débit maximum théorique est le double de la fréquence utilisée pour le signal : on transmet deux bits pour un hertz.

❖ Particularités de code NRZ

- Possède une composante spectrale non nulle.

- Plusieurs séquences de zéros ne contiennent aucune information sur le rythme. Pour éviter de longues séquences de zéros (de un) on utilise un brouilleur à l'émission et un débrouilleur à la réception. Le brouillage est une opération qui consiste à émettre avec le signal, une séquence pseudo-aléatoire que l'on élimine à la réception à l'aide du débrouilleur.
- Grande facilité de mise en œuvre.

II.2.3.2. Codage HDBn (Haute Densité Binaire d'ordre n)

Utilisation : HDB3

Principe : le principe de base est le même que pour le codage bipolaire, mais pour éviter une trop longue série de 0, on introduit un bit supplémentaire au signal pour terminer une série de n 0 consécutifs. Ce bit supplémentaire est de même phase que le dernier 1 transmis pour pouvoir l'identifier, afin qu'il ne soit pas pris en compte dans l'information transmise.

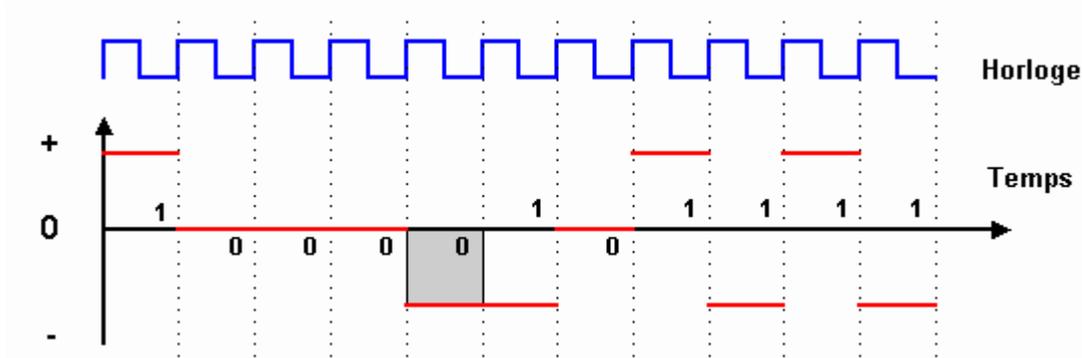


Figure II.6 : Code HDB₃

II.2.3.3. Codage NRZI (Non Return to Zero Inverted)

Utilisation : Fast Ethernet (100BaseFX), FDDI

Principe : on produit une transition du signal pour chaque 1, pas de transition pour les 0.

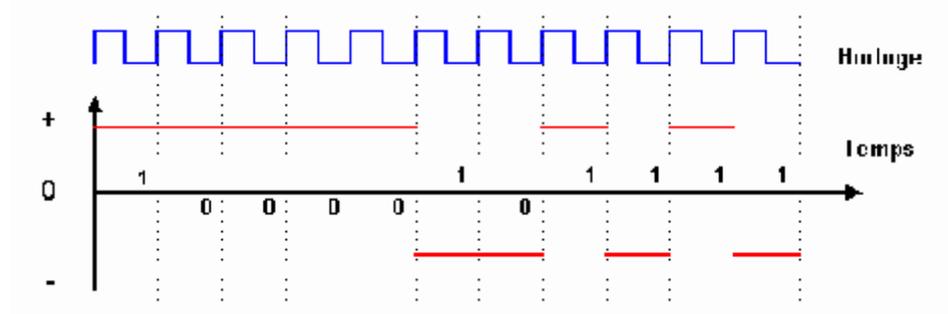


Figure II.7 : le code NRZI

Avec le codage NRZI, on voit que la transmission de longues séries de 0 provoque un signal sans transition sur une longue période. Le débit binaire est le double de la fréquence maximale du signal : on transmet deux bits pour un hertz.

II.2.3.4. Codage Manchester

Utilisation : Ethernet 10Base5, 10Base2, 10BaseT, 10BaseFL

Principe : dans le codage Manchester, l'idée de base est de provoquer une transition du signal pour chaque bit transmis. Un 1 est représenté par le passage de +V à -V, un 0 est représenté par le passage de -V à +V.

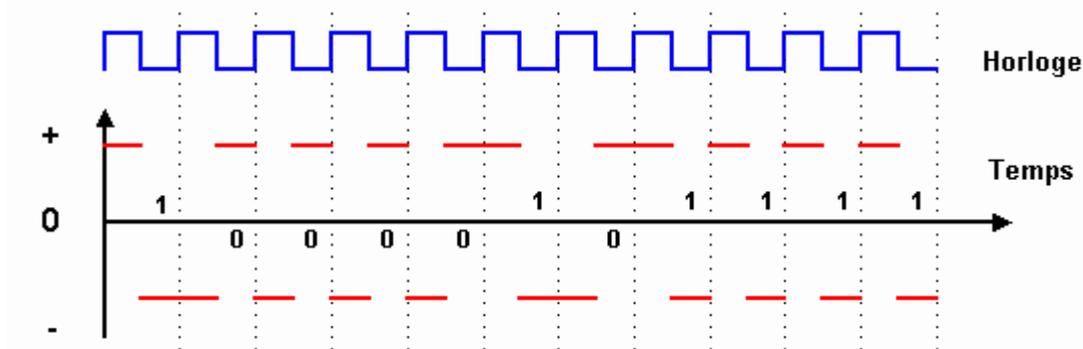


Figure II.8 : code Manchester

La synchronisation des échanges entre émetteur et récepteur est toujours assurée, même lors de l'envoi de longues séries de 0 ou de 1. Par ailleurs, un bit 0 ou 1 étant caractérisé par une transition du signal et non par un état comme dans les autres codages, il est très peu sensible aux erreurs de transmission.

II.3. La modulation

II.3.1. La modulation de fréquence FSK (Frequency Shift Keying)

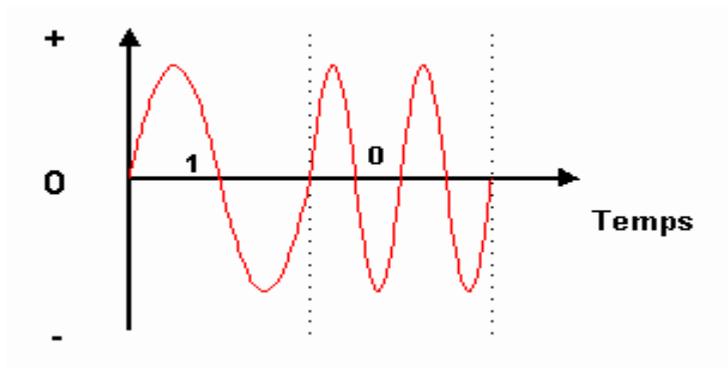


Figure II.9 : La modulation de fréquence FSK

En modulation de fréquence, les niveaux logiques sont représentés par la variation de la fréquence de la porteuse. Par exemple :

La modulation FSK est utilisée pour des transmissions à faible débit sur le réseau téléphonique commuté.

II.3.2 Modulation de phase ou PSK (Phase Shift Keying)

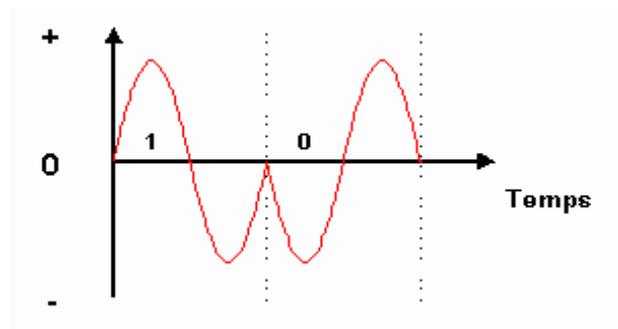


Figure II.10 : Modulation de phase ou PSK

La modulation de phase associe à un code binaire une valeur de la phase de la porteuse. La vitesse peut être facilement augmentée en utilisant un code binaire sur 2, 3 bits ou plus sans augmentation de la fréquence de la porteuse.

II.3.3 Modulation d'amplitude ou ASK (Amplitude Shift Keying)

La modulation d'amplitude s'applique en faisant varier l'amplitude du signal en fonction des bits à coder. Par exemple :

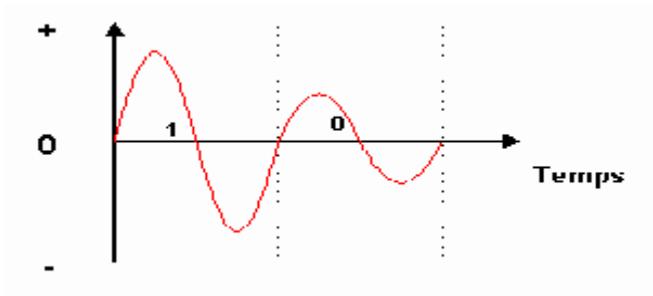


Figure II.11 : Modulation d'amplitude ASK.

A noter que la modulation d'amplitude est la seule utilisable sur fibre optique, car les équipements utilisés actuellement ne sont pas en mesure d'appliquer une autre modulation sur les ondes lumineuses. Dans ce cas, la modulation s'effectue par tout ou rien.

Par contre, elle est peu employée sur d'autres supports, car elle provoque une détérioration du rapport signal sur bruit.

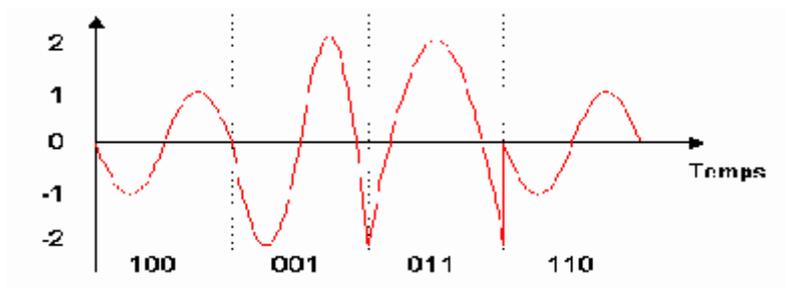
IV.3.4. Modulation QAM

La modulation QAM (Quadrature Amplitude Modulation) ou modulation d'amplitude en quadrature de phase est une technique qui emploie une combinaison de modulation de phase et d'amplitude. Elle est largement employée par les modems pour leur permettre d'offrir des débits binaires élevés.

Prenons par exemple un signal modulé QAM avec 3 bits transmis par baud. Une telle modulation requiert donc 2^3 soit 8 combinaisons binaires différentes. Dans notre exemple, nous prendrons 2 amplitudes combinées avec 4 décalages de phase différents. La table de correspondance pourra être du type :

Groupe de bit	Amplitude	Décalage de phase
000	1	0
001	2	0
010	1	$\frac{3}{4}$
011	2	$\frac{3}{4}$
100	1	$\frac{1}{2}$
101	2	$\frac{1}{2}$
110	1	$\frac{1}{4}$
111	2	$\frac{1}{4}$

Tableau II.1 : correspond au codage QAM.



II.12: exemple de codage de la suite binaire 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1 1 0 à partir de la table ci-dessus.

Les combinaisons possibles en modulations QAM sont souvent représentées par une constellation de points représentant chacun un groupe de bits.

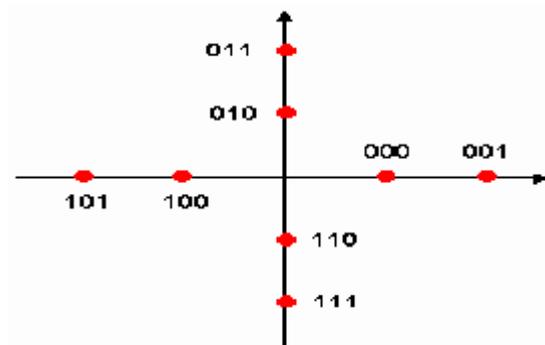


Figure II.13 : Exemple de constellation QAM8 (3 bits par baud).

Dans une constellation QAM, l'éloignement du point par rapport à l'origine indique l'amplitude, son angle indique le décalage de phase. Chacun des canaux définis par le Multiplexage DMT (Discrete Multi Tone) en ADSL est modulé en QAM sur 15 bits au maximum. 32768 combinaisons d'amplitudes et de décalages de phase sont donc nécessaires.

II.4. Les types de systèmes de transmission

II.4.1. Transmission asynchrone

- Les transmissions asynchrones se réalisent pour des systèmes de transmission possédant chacun une horloge différente

- En transmission asynchrone, La transmission n'est donc pas continue mais par paquet séparés par des "silences".

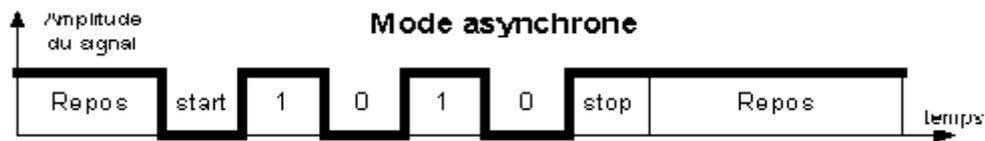


Figure II.14 : transmission asynchrone.

II. 4.2 Transmission synchrone

Pour s'affranchir des erreurs de bits répétées ou ratées, l'émetteur et le récepteur doivent avoir rigoureusement la même horloge.

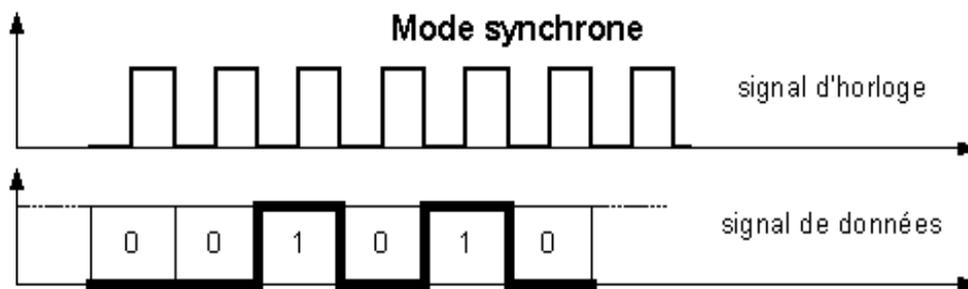


Figure II.14: transmission synchrone

II.5 .Hiérarchie digitale plésiochrone

La hiérarchie PDH (en anglais plésiochronous digital hierarchy) a évolué principalement pour répondre à demande de la téléphoné (voix).

Le principe du multiplexage plésiochrone est de construire le débit supérieur à partir du débit immédiatement inférieur comme le montre la figure II.2

Le caractère plésiochrone du multiplexage impose une opération de multiplexage à chaque niveau pour accéder à un signal affluent. Ainsi pour extraire un train à 2 Mbits/s dans un multiplexe a 140 Mbits/s. 3 démultiplexeurs sont nécessaires, 140 vers 4×34, 34vers 4×8 et 8 vers 4×2 (norme Européenne).

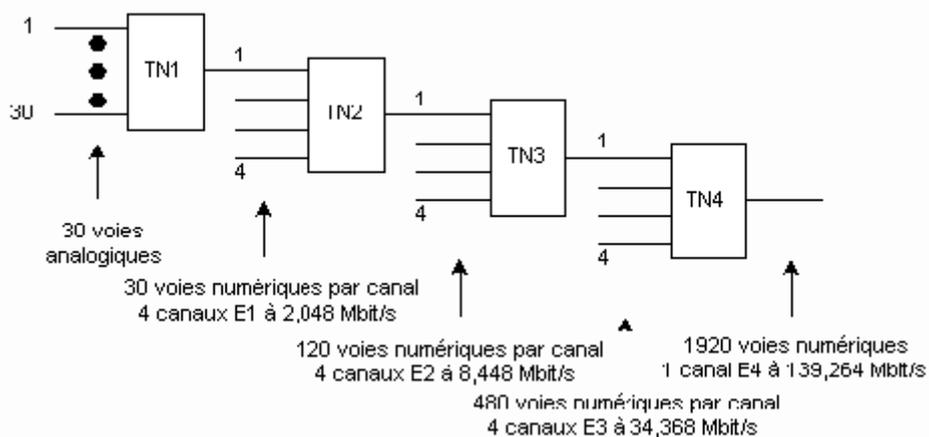


Figure II.15 : la hiérarchie PDH.

II.5.1. Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH en Europe

Chaque opération comporte une récupération de rythme et une recherche de trame.

La trame ainsi constituée, ou les trames entrantes sont multiplexées bit par bit, contient un mot de verrouillage de trame (MTV) et deux bits de service.

Le multiplexage plésiochrone est basé sur l'adjonction d'un sur débit variable accolé à chacun des signaux à multiplexer. Ceci permet d'adopter le débit affluent au débit qui lui est réservé dans le signal résultant.

Les limites du multiplexage plésiochrone :

Le multiplexage plésiochrone permet d'atteindre des débits importants. Cependant, il présente plusieurs inconvénients :

Les systèmes PDH étaient conçus pour véhiculer la voix à travers le réseau téléphonique, ainsi il ne répond pas parfaitement à la demande de communication des données.

Ce système adopte une topologie point à point, donc il manque de flexibilité.

Le multiplexage plésiochrone impose une opération de démultiplexage à chaque niveau hiérarchique pour accéder à un signal affluent. Ainsi, l'insertion ou l'extraction d'un canal individuel de 64 Kbit à un niveau hiérarchique plus élevé exige une quantité considérable de démultiplexeurs.

Le taux d'exploitation d'un réseau PDH est faible.

A cet effet, il y'a eu apparition de la hiérarchie synchrone pour pallier aux insuffisances de PDH et assurer les besoins à haut débit.

II.5.2. La hiérarchie SONET et SDH :

La hiérarchie SONET (synchronous optical network) est une proposition initiale de BELLCORE, définissant la couche physique d'une architecture à haut débit. SDH (synchronous digital hierarchy) correspond à une vision spécifique de SONET, demandée par les Européens.

La trame de base définie par cette hiérarchie est l'**OC-1 (optical container)** au débit de 51,84Mbit/s. un réseau SONET supporte les débits plésiochrones américains.

La hiérarchie numérique synchrone (SDH : Synchronous digital hierarchy) a été développée dans le but essentiel de construire un réseau unique afin de faciliter l'interconnexion des différents réseaux de transmission a travers le monde entier, et pour répondre aux besoins croissants des services et application en terme de bande passante.

La relation entre les deux hiérarchies synchrones est la trame de basse de la hiérarchie SDH qui est STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau 1). Cette trame peut être considérée comme l'entrelacement de trois STS-1(Synchronous Transport signal, niveau 1).

SDH	SONET	Désignation optique	Débit (Mbps)
	STS-1	OC-1	51.84
STM-1	STS-3	OC-3	155.52
STM-4	STS-12	OC-12	622.08
STM-16	STS-48	OC-48	2488.32
STM-64	STS-192	OC-192	9953.28

Tableau II.2 : répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET

II.5.2.1.Principe de multiplexage SDH

Lors de multiplexage SDH, les données sont encapsulées dans des blocs (trames) qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus gros jusqu'à obtenir une trame STM. Chaque bloc porte un nom, on trouve : Conteneur (C), Conteneur Virtuel (VC), Tributary Unit (TU), Tributary Unit Group(TUG), Administrative Unit (AUG), et Synchronous Transport Module (STM).

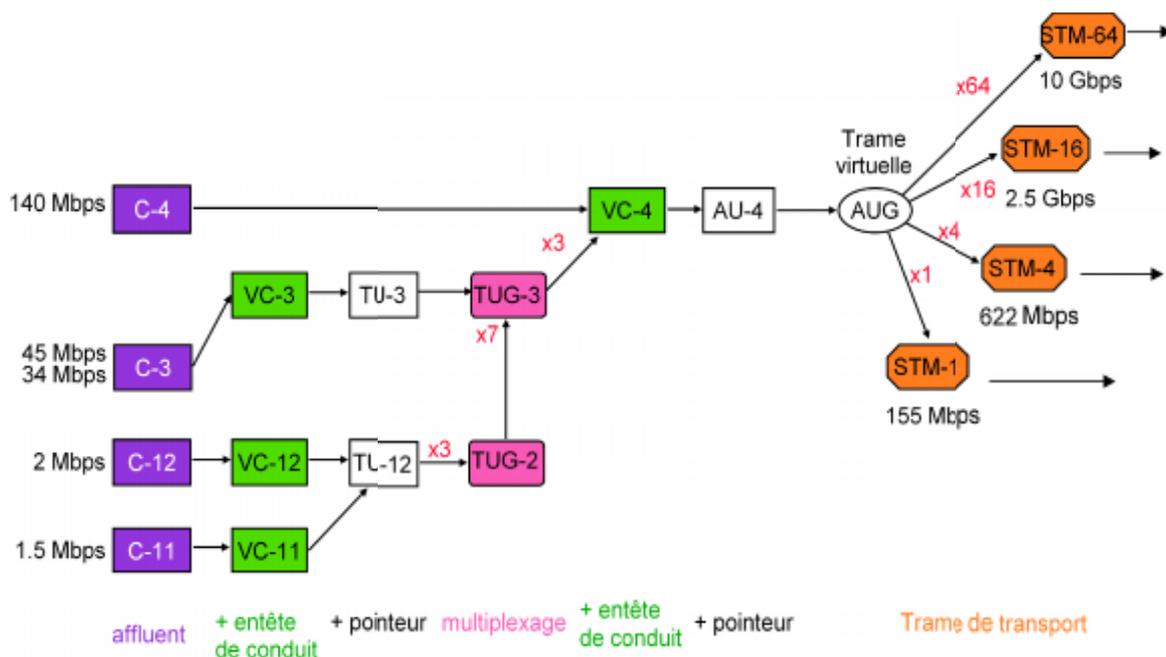


Figure II.16 : La hiérarchie de multiplexage SDH.

Un bloc de données SDH(C, VC, TU, TUG, AUG, STM) est toujours transmis en 125µs, la période clef des transmissions SDH. Comme les blocs ne contiennent pas le même volume de données, cela suppose l'utilisation d'horloge de plus en plus rapide au fur à mesure qu'on avance dans l'arbre de multiplexage.

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau, dit niveau inférieur LO (Low Order) suivi d'un deuxième niveau, dit niveau supérieur HO (Hight Order). Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexées pour former les VC-HO, en suite, dans le deuxième niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM.

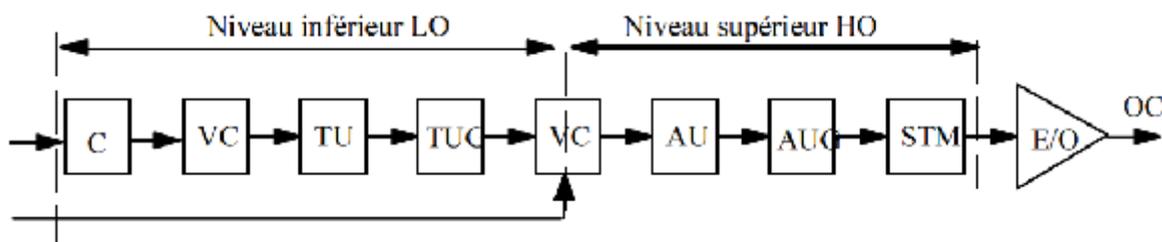


Figure II.17 : Les niveaux de multiplexage SDH.

II.5.2.2. Définition des éléments de la hiérarchie synchrone

- **La notion de conteneur (C)**

Les signaux à transporter proviennent de liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrones. Pour faciliter leur transport, on les segmente en petit blocs appelés conteneur contenant un paquet de données utiles (Payload) arrivés au rythme du débit de l'affluent pendant $125\mu\text{s}$ plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.

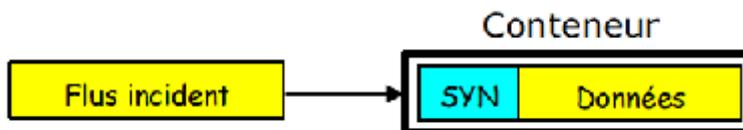


Figure II.18: Notion de conteneur.

- **La notion de conteneur virtuel (VC)**

Le conteneur sera transporté à travers le réseau SDH en suivant un chemin (Path) entre le point d'entrée et le point de sortie. Une des propriétés essentielles de la SDH est de pouvoir gérer ce conteneur et son chemin à travers le réseau indépendamment de son contenu. A cette fin, des bits de gestion appelés POH (Path Overhead) sont ajoutés au conteneur, l'ensemble constitue ce qu'on appelle un Conteneur virtuel **VC (Virtual Container)**. Les VCs sont les éléments de base transportés par le réseau SDH est, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1

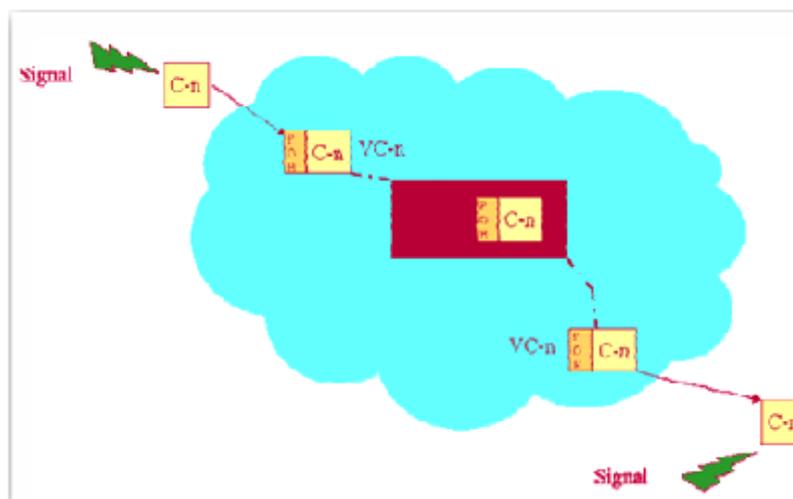


Figure II.19 : la notion de conteneur virtuel (VC).

- **L'unité d'affluent : TUn (Tributary Unit)**

L'unité d'affluent, TUn est composée du VCn et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport, c'est à dire que la position du VC dans la trame peut changer s'il y a justification.

- **Le groupe d'unité d'affluent : TUGn (Tributary Unit Group)**

Le groupe d'unité d'affluent n'est pas une nouvelle entité physique (informatique) mais représente une structure virtuelle de la trame reflétant le multiplexage des TUn. Cela permet de regrouper des TU pour les assembler en une entité (bloc) de dimension supérieure. Le TUG peut être considéré comme les règles de rangement des TUs dans la trame de transport.

Par exemple :

-Le TUG 2 regroupe soit 3 TU12, soit 1 TU2.

-Le TUG 3 assemble 7 TUG 2 soit 1 TU3.

- **L'unité administrative AU4 (Administrative unit)**

L'unité administrative, AU4 est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur du pointeur indique le début du VC4 dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4.

- **Le groupe d'unité Administrative : AUG (Administrative unit Group)**

Le groupe d'unité administrative n'est pas une nouvelle entité physique mais représente une structure virtuelle de la trame. L'AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport.

II.5.2.3. La trame de base

La structure de multiplexage s'articule autour d'une trame de base organisée en octets :

Le signal STM-1(Synchronous Transfer Module d'ordre 1). Cette trame possède les caractéristiques suivantes :

- longueur totale : 2430octets.
- durée de 125 μ s (fréquence de réception de 8KHz).
- débit résultant : 155,520 Mbit/s.

Cette trame représentée ci-dessous comporte trois zones réservées respectivement a :

- la capacité utile (2349 octets : soit 150,336 Mbit/s).
- le sur débit de section SOH (Section Over head) se divise en deux niveaux de gestion à savoir le RSOH et le MSOH.

- Le RSOH (Regeneration Section Over Head)

Permet la surveillance de la couche de section de celle du signal régénération STM-N global.

- Le MSOH (Multiplex Section Over Head) :

Permet la surveillance de la couche de section de multiplexage et celle des trames STM-1.

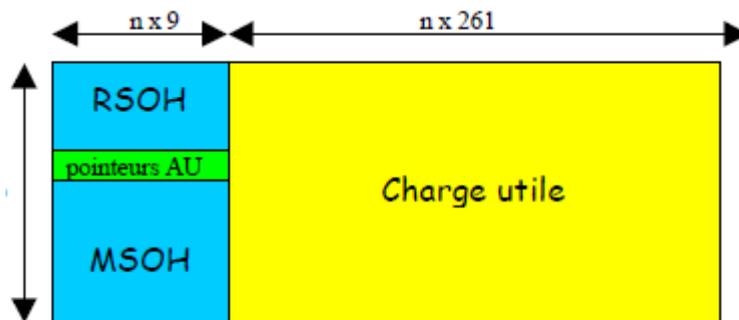


Figure II.20 : la trame de base STM-1.

II.5.2.4. Les trames STMn

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés en n niveaux appelés STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n).

SDH	Débit
STM-1	155 Mb/s
STM-4	622 Mb/s
STM-16	2 Gb/s
STM-64	10 Gb/s
STM-128	20Gb/s
STM-256	40Gb/s

Tableau II.3 : Le niveau STM 4 et STM 16 est formé respectivement de 4 et 16 trames de base STM 1.

II.5.3. Multiplexeur/démultiplexeur optique

Le multiplexeur optique est défini comme étant un dispositif de variation avec deux accès d'entrée ou plus, et un accès de sortie, où la lumière à chaque accès d'entrée est restreinte à une gamme de longueur d'onde présélectionnée et la sortie est une combinaison de la lumière. Provenant des accès d'entrée. Par contre, le démultiplexeur optique est un dispositif qui effectue l'opération inverse.

II.5.4. Les techniques de multiplexage

Le multiplexage est une technique qui permet de faire passer sur un canal des signaux venant de n canaux.

Les signaux entrant dans le multiplexeur, et sortant de démultiplexeur sont dits voies basse vitesse entre ces deux équipements se trouve une voie haute vitesse.

Deux types du multiplexage de base sont largement utilisés en transmission, à savoir :

II.5.4.1. Le multiplexage temporel TDM

Le multiplexage TDM (time division multiplexing), consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant, ceci à tour de rôle pour chaque utilisateur. La location de cette bande passante se fait en divisant l'axe de temps en périodes de durée fixe, et chaque utilisateur ne va transmettre que pendant une de ces périodes déterminées. Un intervalle de temps est fixe et successivement assigné à une source.

Le multiplexage TDM permet alors de regrouper plusieurs canaux de communication à bas débit sur un seul canal à débit plus élevé (par exemple, conception d'un débit 40 Gbits/s, à partir de 4 séquences à 10 Gbits/s).

2. Le multiplexage fréquentiel FDM

FDM (frequency division multiplexing) est une technique de multiplexage par répartition de fréquence (MRF). Elle est utilisée pour accroître les débits sur paires torsadées et plus particulièrement des lignes téléphoniques.

Le multiplexage fréquentiel consiste à partager la bande de fréquence disponible en un certain nombre de canaux ou sous-bandes plus étroites et à affecter en permanence chacun de ces canaux à un utilisateur ou un usage exclusif.

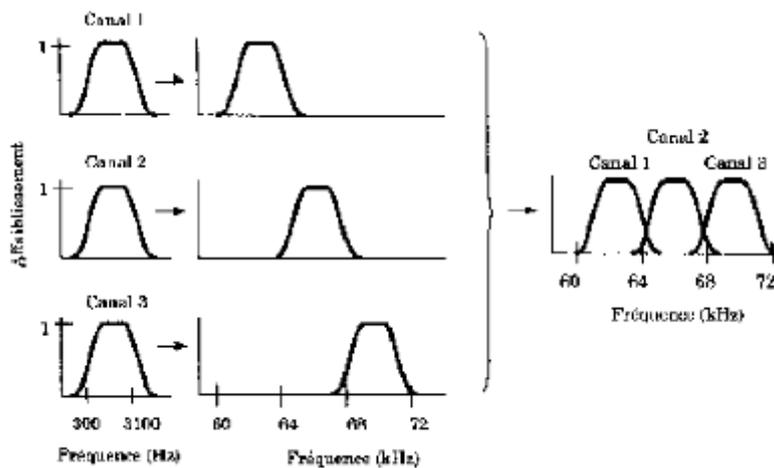


Figure II.21 : Le multiplexage fréquentiel de trois canaux téléphoniques.

II.5.3.3. Le multiplexage WDM/DWDM

L'idée est de reprendre le multiplexage fréquentiel utilisé dans les réseaux électriques pour l'appliquer dans le domaine optique.

En effet, si un signal électrique est composé de plusieurs fréquences, un signal optique est lui composé de plusieurs longueurs d'ondes.

Le principe du multiplexage en longueur d'onde est donc injecté simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.

La fibre optique se prête d'autant plus à cela que sa bande passante est très élevée (de l'ordre de 2500GHz).

La norme ITU-T G692 définit la plage de longueur d'onde dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm et un espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes de 1,6 ou 0,8nm. Le multiplexage de longueur d'onde se fait exclusivement sur fibre monomode.

Lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'ondes est égale ou inférieur à 0,8nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés, on parle alors de DWDM (dense wave length division multiplexing).

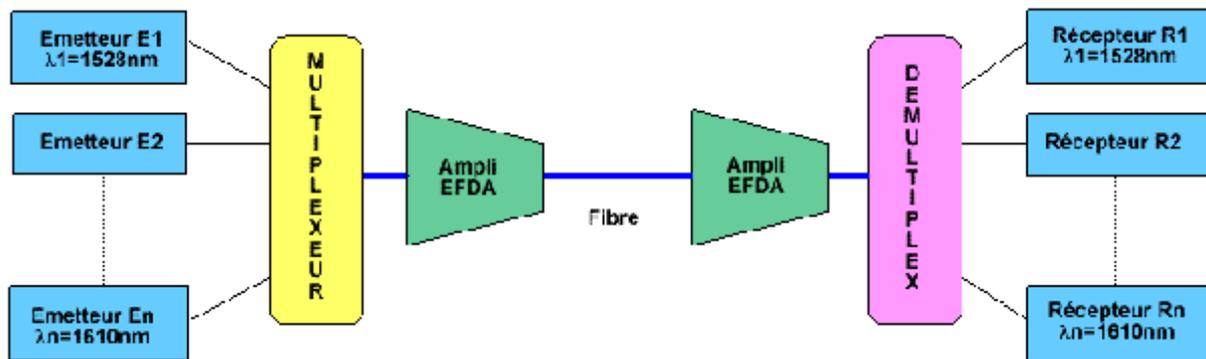


Figure II.22 : Principe d'une liaison WDM.

A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertion. Pour compenser ces pertes et également réduire le bruit, on utilise un amplificateur à fibre dopée erbium EDFA.

Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet des phénomènes non linéaires se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre. Il apparaît des risques de la diaphonie et de mélange des canaux. C'est pourquoi la technologie WDM nécessite, des amplificateurs tous les 50 à 100Km.

Chaque train de signaux numériques, après multiplexage est véhiculé sur sa propre longueur d'onde comme sur une seule fibre. Ces trains peuvent donc être de débits et de formats différents.

Chapitre III

Réseaux et protocoles de communication

III.1.Introduction

De plus en plus, ce sont les réseaux qui nous relient. Les personnes communiquent en ligne depuis n'importe où. Une technologie efficace et fiable permet au réseau d'être disponible n'importe quand et n'importe où. Pour pouvoir échanger des informations sur un réseau, et avec une qualité de service, toute une architecture logicielle doit être mise en œuvre pour contrôler les paquets circulant dans les réseaux. Un standard a alors été créé, normalisé par l'Open Systems Interconnection Reference Model (modèle de référence d'interconnexion des systèmes ouverts) sous la référence OSI, utilisant 7 couches distinctes.

L'architecture TCP/IP est similaire à ce modèle en couche, mais ne dispose que de 4 couches dans la plupart des cas.

III.2.Les éléments d'un réseau

Les réseaux sont constitués de deux parties la partie équipement qui englobe les machines et les supports de transmissions (les câbles coaxiaux, fibre optique etc...) et la partie logiciels constituée des protocoles qui traitent les données à transporter.

III.2.1.présentation du modèle OSI

OSI signifie open Systems interconnection, ce qui se traduit par interconnexion de systèmes ouverts. Ce modèle a été mis en place par l'ISO (International Standards Organisation) organisme dépend de l'ONU afin de mettre en place un standard de communications entre les ordinateurs d'un réseau, en effet, aux origines des réseaux chaque constructeur avait un système propre (on parle de système propriétaire). Le rôle du modèle OSI consiste à standardiser la communication entre les machines afin que différents constructeurs puissent mettre au point des produits (logiciels ou matériels) compatibles.

III.2.2.Les couches du modèle OSI

Le modèle OSI comporte 7 couches numérotées, chacune illustre une fonction réseau bien précise.

III.2.3. Règle de définition des couches

Une couche :

- doit contenir les fonctions logiques regroupées,

- ne doit pas contenir trop de fonctionnalités,
- doit avoir des interfaces avec les couches voisines aussi simples que possible,
- doit être modifiable sans entraîner d'altérations des autres couches.

L'architecture OSI est schématisée comme suit :

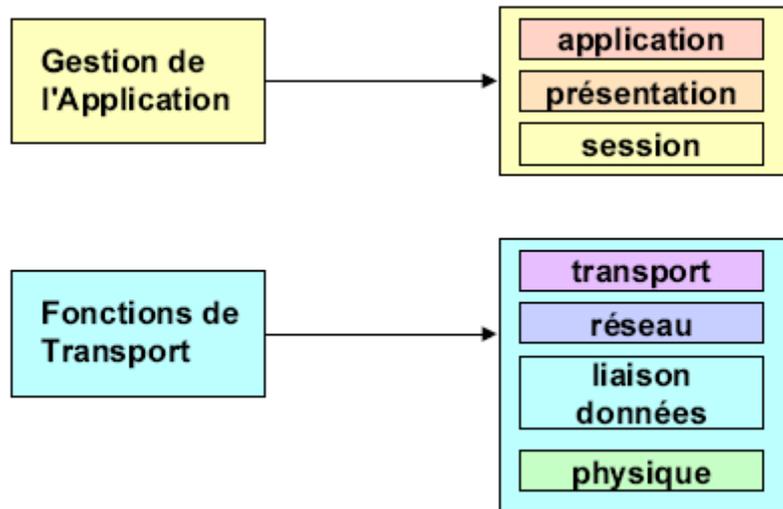


Figure III.1 : Couches du modèle OSI

III.3. Les différentes couches du modèle OSI

III.3.1. La couche physique

C'est la première couche de l'architecture OSI. Elle a pour objectif de conduire les éléments binaires (suite des 0 et des 1) sur le support physique. La couche physique est constituée, principalement du matériel qui fournit des moyens nécessaires pour l'activation et la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission des éléments binaires.

III.3.2. La couche Liaison

La couche Liaison, comme son nom l'indique, est chargée de partager et de lier le support physique unique entre plusieurs stations pour l'envoi des informations. Donc, elle doit s'occuper du maintien, de libération des connexions et du transfert des unités de données de service liaison. En outre, cette couche liaison a pour but de corriger les erreurs produites au niveau de la couche physique.

III.3.3. La couche Réseau

Le rôle de la couche Réseau est de permettre l'acheminement des paquets d'informations jusqu'à l'utilisateur final. Et cela en passant par des nœuds de commutations intermédiaires ou par des passerelles.

Par ailleurs, la couche réseau fournit des moyens nécessaires pour changer entre les entités de niveau transport, des unités de données du service réseau. Le niveau 3 de la couche réseau possède trois fonctions principales:

- le contrôle de flux des paquets ;
- le routage ;
- l'adressage des paquets.

III.3.4. La couche Transport

C'est l'ultime niveau qui s'occupe de l'acheminement de l'information. Cette couche doit assurer le transfert des données entre les entités de niveau session. Ce transport doit être transparent c'est-à-dire indépendant des éléments binaires transportés. Le service transport doit optimiser l'utilisation des infrastructures pour avoir un bon rapport qualité/prix.

III.3.5. La couche Session

La couche session a pour but d'ouvrir et fermer des sessions entre les utilisateurs. Pour cela, il faut s'assurer que l'utilisateur a au moins son représentant (exemple : boîte aux lettres électronique). Donc, cette couche est considérée comme la première couche de l'architecture du réseau. Pour ouvrir une connexion avec une machine distante, la couche session doit posséder un langage compréhensible de l'autre extrémité. Et pour en faire, le passage par la couche Présentation, avant d'ouvrir une session, est obligatoire. Cette couche a la possibilité de gérer quelques fonctionnalités telles que la synchronisation (reprise d'échanges à partir des points précis) et la gestion des interruptions.

III.3.6. La couche Présentation

Les différentes machines connectées ne possèdent pas la même syntaxe pour exprimer les applications qui doivent être effectuées. Et, c'est la couche Présentation qui se charge de la

syntaxe des informations et procure un langage syntaxique commun à l'ensemble des utilisateurs connectés, ou bien, aux entités d'application communicantes.

III.3.7. La couche Application

La couche application est la dernière couche du modèle de référence ISO. Elle contient toutes les fonctions nécessaires pour communiquer entre différents systèmes. Cette couche application s'occupe de la sémantique.

Pour mettre en place cette communication, on associe au niveau de cette couche un processus d'application ou AP (Application Processus) qui peut être vu comme étant un ensemble d'entités d'application ou AE (Application Entity). Ces entités, provenant des applications différentes, communiquent entre elles en faisant appel à des éléments de service d'application ou ASE (Application Service Element). L'entité application contient un ou plusieurs ASE. La coordination entre différents ASE est gérée par le composant Objet d'Association Unique ou SAO (Single Association Object) qui contrôle la communication durant toute la vie de cette association.

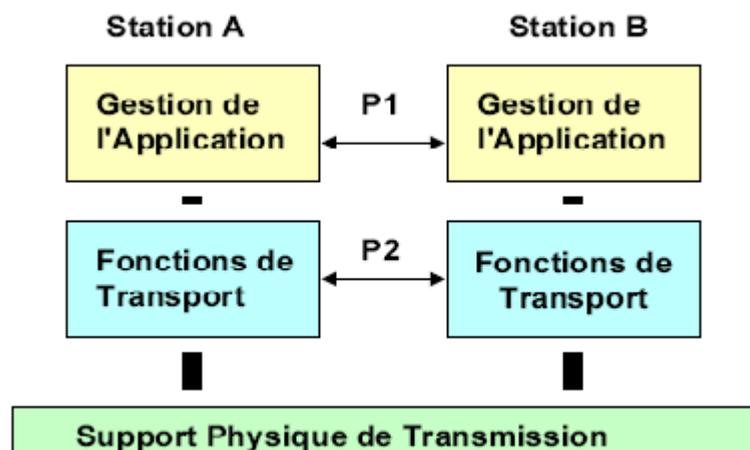


Figure III.2 : Connexion entre deux stations

III.4. Le protocole de communication TCP/IP

Il est nécessaire de définir des règles pour assurer le transfert de l'information. Ces règles sont appelées protocoles. Le réseau interne est basé principalement sur le protocole TCP/IP.

TCP/IP, comme son nom l'indique, est constitué de deux protocoles TCP et IP. TCP (Transmission Control Protocol) se situe au niveau transport du modèle OSI, il s'occupe donc d'établir une liaison virtuelle entre deux ordinateurs. Au niveau de l'ordinateur émetteur, TCP reçoit les données de l'application dans un buffer, les sépare en datagrammes pour pouvoir les envoyer séparément, l'ordinateur distant (qui utilise le même protocole) à la Réception doit émettre un accusé de réception, sans celui-ci, le data gramme est réémis.

Au niveau de l'ordinateur récepteur, TCP réassemble les data grammes pour qu'ils soient transmis à l'application dans le bon ordre. IP (Internet Protocol) IP assure l'acheminement de chaque paquet sur le réseau en choisissant la route la plus appropriée. Pour pouvoir s'y retrouver IP va de pair avec un système d'adressage qui identifie de manière unique les réseaux traversés ainsi que chaque entité d'un réseau (appelé aussi nœud: ordinateur, routeur, ...).

La relation entre TCP et IP et la suivante, TCP fait passer à IP un datagramme accompagné de sa destination, IP ne s'occupe pas de l'ordre d'expédition, c'est TCP qui s'occupe de tout remettre en ordre.

Souvent les termes « datagrammes » et « paquet » semblent identiques. En fait, on parle de datagramme lorsqu'il est question de TCP (couche 4 de l'OSI), le datagramme est l'unité de données. On parle de paquet pour les couches réseaux (3 IP) et liaison (2 et 1). On peut les voir circuler sur le réseau.

III.4.1. Les couches du modèle TCP/IP

Le modèle TCP/IP peut être décrit comme une architecture réseau à 4 couches.

III.4.1.1.La couche hôte réseau

Cette couche est assez "étrange". En effet, elle semble "regrouper" les couches physiques et liaison de données du modèle OSI. En fait, la seule contrainte de cette couche, c'est de permettre un hôte d'envoyer des paquets IP sur le réseau. L'implémentation de cette couche est laissée libre. De manière plus concrète, cette implémentation est typique à la technologie utilisée sur le réseau local.

III.4.1.2.La couche Internet

Cette couche réalise l'interconnexion des réseaux (hétérogènes) distants sans connexion. Son rôle est de permettre l'injection de paquets dans n'importe quel réseau et l'acheminement des ces paquets indépendamment les uns des autres jusqu'à destination. Cette couche internet contient 5 protocoles (IP, ARP, ICMP, RARP et IGMP).

III.4.1.3.La couche transport

Son rôle est le même que celui de la couche transport du modèle OSI : permettre à des entités paires de soutenir une conversation. Officiellement, cette couche n'a que deux implémentations : le protocole TCP et le protocole UDP. TCP est un protocole fiable, orienté connexion, qui permet l'acheminement sans erreur de paquets issus d'une machine d'un Internet à une autre machine du même internet. Son rôle est de fragmenter le message à transmettre de manière à pouvoir le faire passer sur la couche internet.

III.4.1.4.La couche application

Contrairement au modèle OSI, c'est la couche supérieure à la couche transport, tout simplement parce que les couches présentation et session sont apparues inutiles. les logiciels réseau n'utilisent que très rarement ces deux couches, le modèle OSI dépouillé de ces 2 couches ressemble fortement au modèle TCP/IP.

Cette couche contient tous les protocoles de haut niveau, comme par exemple Telnet, TFTP, SMTP, HTTP. Le point important pour cette couche est le choix du protocole de transport à utiliser.

III.4.2. Analogie TCP/IP modèle ISO

TCP/IP est apparu bien avant la définition du modèle OSI si bien qu'il ne colle pas tout à fait avec ce dernier. On peut cependant faire l'analogie de TCP/IP avec le modèle en couches.

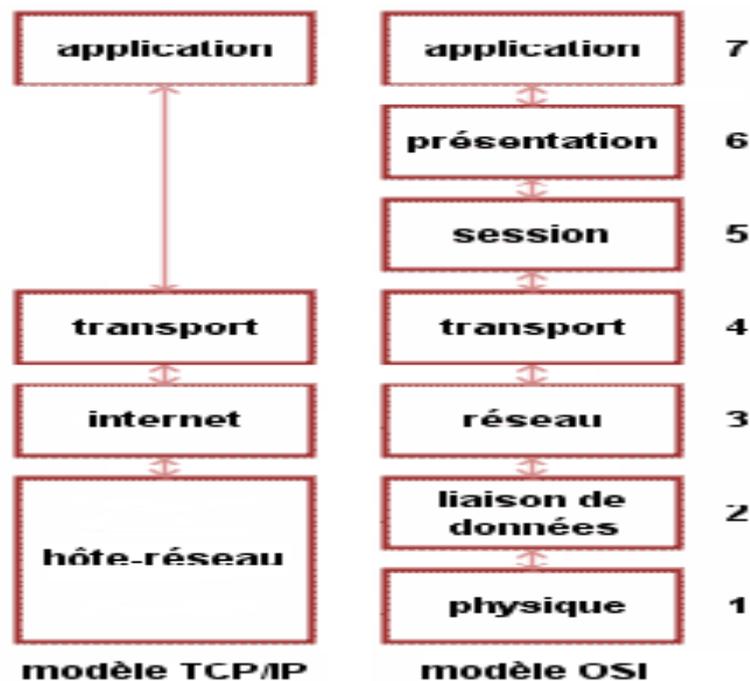


Figure III.3 Analogie TCP/IP, OSI

III.4.3. Comparaison TCP/IP avec le modèle OSI

Tout d'abord, les points communs. Les modèles OSI et TCP/IP sont tous les deux fondés sur le concept de pile de protocoles indépendants. Ensuite, les fonctionnalités des couches sont globalement les mêmes.

Au niveau des différences, on peut remarquer la chose suivante : le modèle OSI faisait clairement la différence entre 3 concepts principaux, alors ce n'est plus tout à fait le cas pour le modèle TCP/IP. Ces 3 concepts sont : concepts de services, interfaces et protocoles. TCP/IP fait peu la distinction entre ces concepts, malgré les efforts des concepteurs pour se rapprocher de l'OSI. Cela est dû au fait que pour le modèle TCP/IP, ce sont les protocoles qui sont d'abord apparus. Le modèle ne fait finalement que donner une justification théorique aux protocoles, sans les rendre véritablement indépendants les uns des autres.

III.4.3. Le protocole IP

III.4.3.1. Le rôle de protocole IP

C'est l'un des protocoles les plus importants de l'internet car il permet l'élaboration et le transport des datagrammes IP, sans toutes fois en assurant la livraison. En réalité le *protocole*

IP traite les datagrammes IP indépendamment les uns des autres, en définissant leur représentation, leur routage et leur expédition.

III.4.3.2. Les datagrammes

Les données circulent sur Internet sous forme de datagrammes (paquets). Les datagrammes sont des données encapsulées, c'est-à-dire des données auxquelles on a ajouté des en-têtes correspondant à des informations sur leur transport telles que l'adresse IP de destination.

Voici ce à quoi ressemble un datagramme :

32 bits			
Version (4 bits)	Longueur d'en-tête (4 bits)	Type de service (8 bits)	Longueur totale (16 bits)
Identification (16 bits)		Drapeau (3 bits)	Décalage fragment (13 bits)
Durée de vie (8 bits)		Protocole (8 bits)	Somme de contrôle en-tête (16 bits)
Adresse IP source (32 bits)			
Adresse IP destination (32 bits)			
Données			

Tableau III.1 En-tête de paquet IP

Voici la signification des différents champs :

- **Version (4 bits)** : il s'agit de la version du protocole IP que l'on utilise (actuellement on utilise la version 4) afin de vérifier la validité du datagramme. Elle est codée sur 4 bits.
- **Longueur d'en-tête** : il s'agit du nombre de mots de 32 bits constituant l'en-tête (nota Ce champ est codé sur 4 bits).
- **Type de service (8 bits)** : il indique la façon selon laquelle le datagramme doit être traité.

- **Longueur totale (16 bits)**: il indique la taille totale du datagramme en octets. La taille totale du datagramme ne peut dépasser 65536 octets.
- **Identification, drapeaux et déplacement de fragment** : sont des champs qui permettent la fragmentation des datagrammes.
- **Durée de vie appelée aussi TTL (8 bits)** : ce champ indique le nombre maximal de routeurs à travers lesquels le datagramme peut passer. Ainsi ce champ est décrémenté à chaque passage dans un routeur, lorsque celui-ci atteint la valeur critique de 0, le routeur détruit le datagramme. Cela évite l'encombrement du réseau par les datagrammes perdus.
- **Protocole (8 bits)** : ce champ, en notation décimale, permet de savoir de quel protocole est issu le datagramme (ICMP : 1 ; IGMP : 2 ; TCP : 6; UDP: 17 ; ...)
- **Somme de contrôle de l'en-tête (16 bits)** : ce champ contient une valeur codée sur 16 bits qui permet de contrôler l'intégrité de l'en-tête.
- **Adresse IP source (32 bits)** : Ce champ représente l'adresse IP de la machine émettrice, Il permet au destinataire de répondre.
- **Adresse IP destination (32 bits)** : adresse IP du destinataire du message.

III.4.3.3.L'adressage IP

Sur Internet, les ordinateurs communiquent entre eux grâce au protocole IP qui utilise des adresses numériques appelées adresse IP composé de 4 nombre entiers (4 octets) qui varient de 0.0.0.0 à 255.255.255.255. Chaque ordinateur d'un réseau possède une adresse unique sur ce réseau.

L'adresse IP est une adresse de 32 bits composée de deux parties. La partie des nombres à gauche qui désigne le réseau est appelée ID de réseau (Net-ID), et l'autre partie de droite qui désigne les ordinateurs de ce réseau est appelée ID d'hôte (hot-ID).

➤ Adresses particulières

- Lorsque l'on annule la partie host-ID d'une adresse IP, on obtient ce que l'on appelle **l'adresse réseau**.
- Lorsque la partie Net-ID est annulée, on obtient **l'adresse machine**. Cette adresse représente la machine spécifiée par le host-ID qui se trouve sur le réseau courant.
- Lorsque tous les bits de la partie host-ID sont à 1, l'adresse obtenue est appelée **l'adresse de diffusion** (Broadcast).

- Lorsque tous les bits de la partie Net-ID sont à 1, l'adresse obtenue est appelée **l'adresse de diffusion limitée** (Multicast).

➤ **Masque de sous-réseau**

En résumé, on fabrique un masque contenant des 1 aux emplacements des bits que l'on désire conserver, et des 0 pour ceux que l'on veut rendre égaux à zéro. Une fois ce masque créé, il suffit de faire un « ET » entre la valeur que l'on désire masquer et le masque afin de garder intacte la partie que l'on désire et annuler le reste. Ainsi, un masque réseau se présente sous la forme de 4 octets séparés par des points (comme une adresse IP). Le premier intérêt d'un masque de sous-réseau est de permettre d'identifier simplement le réseau associé à une adresse IP.

III.4.3.4. Les classe d'adresse IP

La partie réseau de l'espace d'adressage 32 bits est divisée en classes.

- Les adresses de classe A
- Les adresses de classe B
- Les adresses de classe C
- Les adresses de classe D
- Les adresses de classe E

III.4.4.1. Classe A

Le premier octet a une valeur strictement inférieure à 128 (valeur du bit de poids fort égal à 0). Ce premier octet désigne le numéro de réseau et les 3 autres correspondent à l'adresse de l'hôte.

Classe A			
Partie réseau	Partie hôte		
0xx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx
<i>Octet 1</i>	<i>Octet 2</i>	<i>Octet 3</i>	<i>Octet 4</i>

Figure III.4: forma d'adressage (classe A)

III. 4.4.2. Classe B

Le premier octet a une valeur comprise entre 128 et 192 (valeur des 2 bits de poids fort égale à 10). Les 2 premiers octets désignent le numéro de réseau et les 2 autres correspondent à l'adresse de l'hôte.

Classe B			
<i>Partie réseau</i>		<i>Partie hôte</i>	
10x.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx
Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4

Figure III.5: forma d'adressage (classe B)

III.4.4.3. Classe C

Le premier octet a une valeur comprise entre 192 et 223 (valeur des 3 bits de poids fort égale à 110). Les 3 premiers octets désignent le numéro de réseau et le dernier correspond à l'adresse de l'hôte.

Classe C			
<i>Partie réseau</i>			<i>Partie hôte</i>
110.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx
Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4

Figure III.5 : forma d'adressage (classe C)

III.4.4.4. Classe D

Le premier octet a une valeur comprise entre 224 et 239 (valeur des 3 bits de poids fort égale à 111). Il s'agit d'une zone d'adresses dédiées aux services de multidiffusion vers des groupes d'hôtes (*host groups*).

Classe D			
<i>Adresse multidiffusion</i>			
111.xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx	xxx.xxx.xxx.xxx
Octet 1	Octet 2	Octet 3	Octet 4

Figure III.6 : forma d'adressage (classe D)

III.4.4.5 Classe E

Le premier octet a une valeur supérieure à 240. Il s'agit d'une zone d'adresses réservées aux expérimentations. Ces adresses ne doivent pas être utilisées pour adresser des hôtes ou des groupes d'hôtes.

A chaque classe correspond un nombre maximum de réseau², et à chaque réseau d'une certaine classe, correspond un nombre maximum d'adresses, c'est à dire un nombre maximum de stations pouvant bénéficier d'une adresse fixe à l'intérieur de ce réseau.

Le tableau suivant représente les propriétés des différentes classes :

Les classes des adresses IP					
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classe E
Fonction	Multinationales	Grande entreprises	Petites entreprises	Multicasting	Recherche expérimentale
Réseau	Sur 1 octet	Sur 2 octets	Sur 3 octets		
Station	Sur 3 octets	Sur 2 octets	Sur 1 octet		
Structure de la partie réseau	1.0.0.0 à 126.0.0.0	128.1.0.0 à 191.254.0.0	192.0.1.0 à 223.254.254.0		

Valeur du 1^{er} octet en binaire	00000001 à 01111110	10000000 à 10111111	11000000 à 11011111		
Nombre de machines par réseau	16 millions	65 536	256		

Tableau.III.2. Les classes d'adressage

III.4.5. Les adresses IP conventionnelles (Adresses réservées)

Certaines adresses sont réservées pour une utilisation conventionnelle

- 0.0.0.0 est utilisée par les machines pendant la procédure de démarrage de l'ordinateur (le BOOT).
- 127.0.0.0 est utilisée pour tester une adresse IP.
- 192.168.0.0 n'existe pas sur Internet, afin d'être réservée pour les réseaux locaux sous TCP/IP
- 255.255.255.255 est utilisée comme adresse de broadcast générale.

III.4.6.1 Routage IP

En règle générale, le routage est le processus de transmission des paquets entre les réseaux connectés. Pour les réseaux TCP/IP, le routage fait partie du protocole IP est utilisé en combinaison avec d'autres services de protocole réseau pour fournir des capacités de transmission entre les hôtes situés sur des segments de réseau distincts dans un réseau TCP/IP plus grand.

Les datagrammes IP sont échangés et exécutés sur chaque hôte en utilisant IP sur la couche Internet.

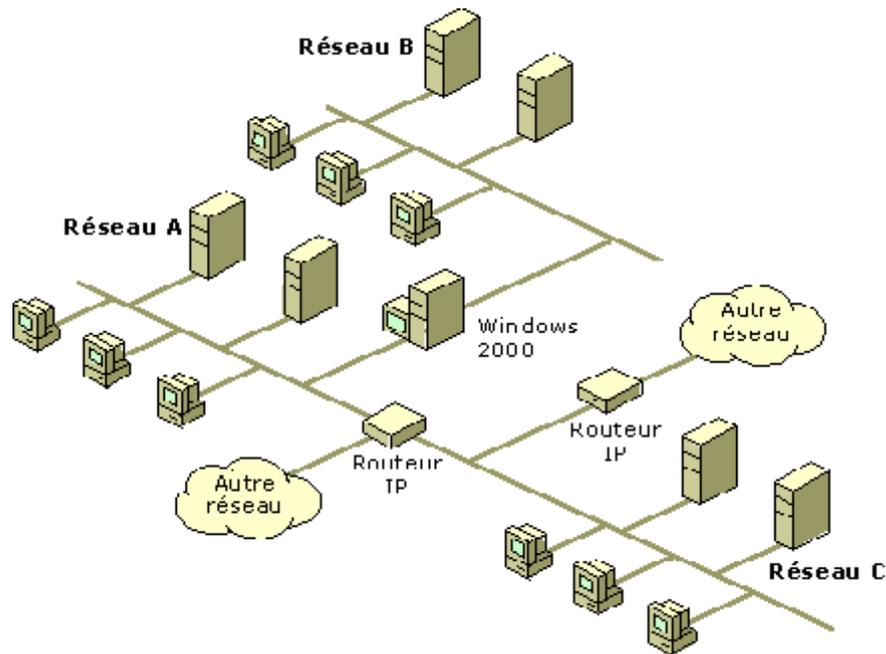


Figure.III.7 : Routage IP

III.4.6.2 Tables de routage :

Les hôtes TCP/IP utilisent une table de routage pour gérer les informations sur les autres réseaux et hôtes IP. Les réseaux et les hôtes sont identifiés en utilisant une adresse IP et un masque de sous-réseau. De plus, les tables de routage sont importantes car elles fournissent les informations nécessaires à chaque hôte local en indiquant comment communiquer avec les réseaux et hôtes distants.

Il est possible, pour chaque ordinateur d'un réseau IP, de gérer une table de routage comportant une entrée pour chaque autre ordinateur ou réseau avec lequel l'ordinateur local communique.

Lorsqu'un ordinateur s'apprête à envoyer un datagramme IP, il intègre dans l'en-tête IP sa propre adresse IP de source et de destination pour le destinataire. Il examine ensuite l'adresse IP de destination, la compare avec le contenu d'une table de routage IP mise à jour localement et entreprend l'action appropriée, en fonction du résultat de ses recherches. L'ordinateur effectue l'une des trois tâches suivantes :

- Il transmet le datagramme à une couche de protocole supérieure à IP sur l'hôte local.
- Il transmet le datagramme via l'une de ses interfaces réseau associées.
- Il supprime le datagramme.

III.4.6.3 Routage dynamique :

Lorsqu'un réseau atteint une taille assez importante, il est très lourd de devoir ajouter les entrées dans les tables de routage à la main. La solution est le routage dynamique. Cela permet de mettre à jour les entrées dans les différentes tables de routage de façon dynamique.

III.4.6.4 Routage statique :

Par opposition au routage dynamique, consiste à saisir manuellement les routes dans le routeur.

III.4.6.5 Le routage interdomaine sans classe :

Le routage inter domaine sans classe (Classe Inter-Domain Routing ou CIDR) est une méthode permettant de contourner la limitation de l'allocation des adresses IP par classe, et de pallier la pénurie des adresses IP version 4 des classes B et C. Les entreprises disposant d'une classe B alors qu'elles n'ont qu'un petit nombre de stations « gaspillent » des adresses IP potentielles. Par ailleurs, le saut d'une classe à une autre est très important, à la fois en terme de coût et en terme de nombre d'adresse.

III.4.7 Types d'adresses

III.4.7.1 L'adresse de broadcast d'un réseau local

L'adresse de broadcast d'un réseau local est l'adresse de diffusion générale à toutes les stations du réseau. L'adresse de broadcast est en général la dernière adresse du réseau.

III.4.7.2 Adresse multicast

Plutôt que d'envoyer les fichiers du serveur vers chacune des machines clientes (unicast) on peut n'envoyer l'information qu'une seule fois et chaque ordinateur client la récupère. Les clients écoutent ce qui arrive sur cette adresse et suivent la procédure décrite par le protocole multicast implémenté.

III.4.7.3 Adresse unicast

C'est le principe le plus utilisé et le plus simple. Les ordinateurs possédant chacun une adresse IP, on peut envoyer les trames en spécifiant l'adresse IP de l'ordinateur à qui on veut envoyer.

III.4.8. Configuration d'adresse IP

III. 4.8.1. Configuration manuelle

C'est l'utilisateur qui configure l'adresse IP de sa machine à partir du système d'exploitation installé.

III. 4.8.2. Configuration automatique

Si on ne veut pas configurer manuellement les adresses IP des postes, on peut faire appel à un serveur DHCP. Il contient une liste d'adresses disponibles qu'il distribue automatiquement. Au démarrage du poste, celui-ci demande une adresse au DHCP. Il la conserve pendant une durée déterminée (durée de bail). Le serveur DHCP peut aussi fournir au poste d'autres paramètres (passerelle par défaut, adresse du DNS, etc...).

III.5. Protocoles de routage

➤ Le protocole RIP

RIP signifie Routing Information Protocol (protocole d'information de routage). Il s'agit d'un protocole de type vecteur distance, c'est-à-dire que chaque routeur communique aux autres routeurs la distance qui les sépare (le nombre de saut). Ainsi, lorsqu'un routeur reçoit un de ces messages il incrémente cette distance de 1 et communique le message aux routeurs directement accessibles. Les routeurs peuvent donc conserver de cette façon la route optimale d'un message en stockant l'adresse du routeur suivant dans la table de routage de telle façon que le nombre de saut pour atteindre un réseau soit minimal.

Toutefois ce protocole ne prend en compte que la distance entre deux machines en termes de saut, mais il ne considère pas l'état de la liaison afin de choisir la meilleure bande passante possible.

➤ *Le protocole OSPF*

OSPF (Open Shortest Path First) est plus performant que RIP et commence donc à le remplacer petit à petit. Il s'agit d'un protocole de type protocole route-link qui veut dire Protocole d'état des liens, cela signifie que, contrairement à RIP, ce protocole n'envoie pas aux routeurs adjacents le nombre de sauts qui les sépare. De cette façon, chaque routeur est capable de dresser une carte de l'état du réseau et peut par conséquent choisir à tout moment la route la plus appropriée pour un message donné.

III.6. le protocole MPLS

III.6.1. Définition

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) qui veut dire commutation multi protocole par étiquette est une technique réseau en cours de normalisation à l'IETF (Internet Engineering Task Force), dont le rôle principal est de combiner les concepts du routage IP de niveau 3, et les mécanismes de la commutation de niveau 2, telles que implémentée dans ATM ou Frame Relay. MPLS doit permettre d'améliorer le rapport performance/prix des équipements de routage, d'améliorer l'efficacité du routage(en particulier pour les grands réseaux).

MPLS traite la commutation en mode connecté (basé sur les labels); les tables de commutation étant calculées à partir d'informations provenant des protocoles de routage IP ainsi que de protocoles de contrôle.

III.6.2.Objectif de MPLS

L'un des objectifs initiaux était d'accroître la vitesse du traitement des datagrammes dans l'ensemble des équipements intermédiaires. Cette volonté, avec l'introduction des gigarouteurs, est désormais passée au second plan. Depuis, l'aspect "fonctionnalité" a largement pris le dessus sur l'aspect "performance", avec notamment les motivations suivantes :

- Intégration IP/ATM
- Création de VPN
- Flexibilité : possibilité d'utiliser plusieurs types de media (ATM, FR, Ethernet, PPP, SDH).
- Differential Services (DiffServ)
- MPLS pourra assurer une transition facile vers l'Internet optique

Traffic Engineering permettant de définir des chemins de routage explicites dans les réseaux IP.

III.6.3. Principe du MPLS

Basée sur la permutation d'étiquettes, un mécanisme de transfert simple offre des possibilités de nouveaux paradigmes de contrôle et de nouvelles applications.

Dans un réseau MPLS, on distingue deux composants ayant des comportements différents : les éléments de la périphérie du réseau, et les composants dans le cœur du réseau. Ce sont respectivement les E-LSR (Edge Label Switch Router) et les LSR (label switching router).

Lorsqu'un **Ingress E-LSR** (routeur d'entrée) reçoit le paquet IP il réalise une classification puis assigne un label les LSR (label switching router) du nuage MPLS analysent puis commutent les paquets labélisés jusqu'à l'**Egress E-LSR** (routeur de sortie) qui supprime les labels et remet les paquets à leur destination finale.

Ce qui est important ici, est que le calcul nécessaire pour insérer un label n'est effectué qu'une seule fois, lorsque le datagramme d'un flux arrive à un **Ingress E-LSR**.

Ce schéma de consultation et de transfert MPLS offre la possibilité de contrôler explicitement le routage en fonction des adresses source et destination, facilitant ainsi l'introduction de nouveaux services IP.

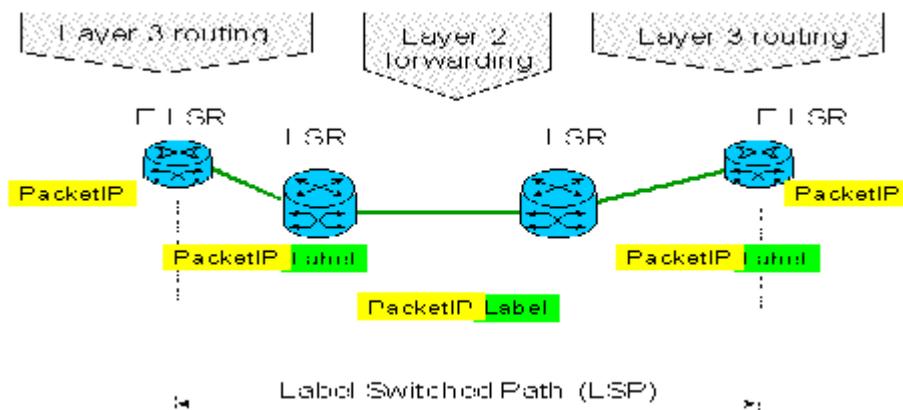


Figure III.8 : la commutation de label.

III.6.4.fonctionnement du MPLS

Dans MPLS la transmission de données se fait sur des chemins appelés label-switched paths (LSP, chemin à commutation du label) qui sont unidirectionnels. L'acheminement est assuré par les routeurs de transit toute en passant par ceux de la périphérie du réseau.

Les données encapsulées pour la première fois et assignées à une FEC (Forwarding Equivalence Class), lors de leurs entrées sur le réseau. La FEC est la représentation d'un groupe de paquet qui a en communs les même besoins, quant à leur transport (même chemin LSP). Tous les paquets d'un tel groupe reçoivent le même traitement au cours de leur acheminement.

La distribution des labels est assurée par des protocoles de signalisation. Le plus utilisé est le protocole LDP (label Distribution Protocol).

III.6.5.le label MPLS

Un label a une signification locale entre 2 LSR adjacents. Les actions à réaliser sur le label : insérer, changer ou retirer.

- ✓ **Label sur 20 bits** : oriente le flux entre le LSR amont et la LSR aval.

III.6.6.Le LSP (label Switch Path)

Le LSP décrit essentiellement les nœuds LSR à traverser pour atteindre le nœud de sortie pour chaque FEC.la création des LSP est orientée connexion car, elle s'opère avant le transfert des données. Au sein d'un domaine MPLS, un chemin est défini pour un paquet donné à partir d'une FEC, ce chemin est unidirectionnel et le trafic de retour doit donc prendre un autre LSP.

MPLS propose les deux solutions suivantes pour implémenter un LSP :

- ✓ **Routage saut-par-saut**

Chaque LSR choisit indépendamment le saut suivant pour une FEC donné. Cette méthodologie est similaire à celle utilisé dans les réseaux IP courants. Le LSR utilise les protocoles de routage disponibles, comme OSPF.

- ✓ **Routage explicite** : le premier LSR détermine la liste des nœuds à suivre. Le chemin spécifié peut être non-optimal.

III.6.7. Le protocole LDP

La distribution implicite de labels aux LSR est réalisée grâce au protocole LDP (Label Distribution Protocol). LDP définit une suite de procédures et de messages utilisés par les LSR pour s'informer mutuellement du mapping entre les labels et le flux.

LDP est bidirectionnel et permet la découverte dynamique des nœuds adjacents grâce à des messages Hello échangés par UDP. Une fois que les 2 nœuds se sont découverts, ils établissent une session TCP qui agit comme un mécanisme de transport fiable des messages d'établissement de session TCP, des messages d'annonce de labels et des messages de notification.

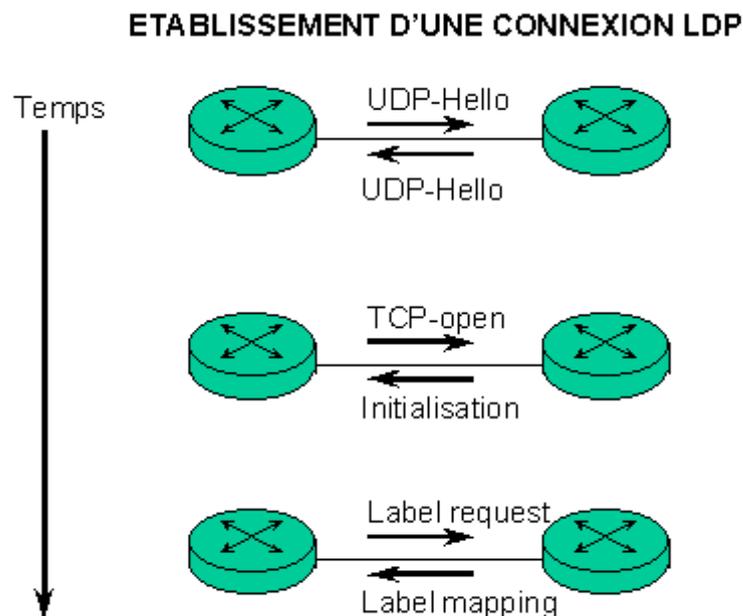


Figure III.9 : Fonctionnement de LDP

III.6.8 Traffic Engineering (ingénierie de trafic)

Les motivations initiales pour la définition de l'architecture MPLS étaient de doter le monde IP d'un mode connecté et ainsi d'améliorer les performances des routeurs en traitant les paquets IP directement au niveau 2 (commutation) sans avoir à remonter systématiquement au niveau 3 (routage) à chaque bond. En effet, commuter un paquet IP à partir d'un " label " revient à utiliser le label entrant comme pointeur dans un tableau dont la case correspondante contient l'interface de sortie vers laquelle le paquet doit être envoyé, ainsi que le nouveau label à lui affecter.

Ceci étant, les performances des routeurs IP étant devenues ce qu'elles sont, l'argument de l'augmentation des performances des commutateurs/routeurs MPLS/IP perd un peu de son intérêt : les algorithmes de routage de paquets les plus récents offrent des performances (en rapidité de traitement) quasi similaires à celles d'une simple opération de commutation.

Par " Traffic Engineering MPLS ", il faut comprendre, établissement de connexions " à la demande ", " gestion de trafic ", gestion des routes, gestion des ressources, gestion de l'écoulement de flux de trafic à travers un réseau IP. La possibilité de faire suivre à des paquets IP un chemin à travers le réseau ne correspondant pas forcément au chemin que ces mêmes paquets auraient suivi s'ils avaient été routés au niveau 3 (c'est à dire à partir des informations issues du protocole de routage interne du réseau, i.e. RIP, OSPF, IS-IS, EIGRP, etc.), ceci afin de mieux gérer les ressources du réseau " .

En effet, via un Label Switched Path (LSP), MPLS permet d'imposer le chemin que les paquets IP doivent suivre pour atteindre une destination donnée. Un LSP est donc unidirectionnel.

III.6.9. La qualité de service QoS

LDP est le protocole de signalisation qui permet d'affecter des labels à un chemin au sein d'un réseau. En ce sens, il correspond à un protocole de signalisation. Cependant, LDP ne contient pas de paramètres permettant de formuler une demande de ressources à l'établissement d'un LSP (même s'il est possible de demander un traitement spécifique pour tous les paquets empruntant un même LSP, selon le modèle DiffServ).

Deux approches ont été retenues à l'IETF pour permettre d'associer des ressources et de garantir de la QoS sur un LSP : CR-LDP, et RSVP.

On trouve les services suivants dans un réseau MPLS :

1. Integrated Services (IntServ)

IntServ suppose que pour chaque flux demandant de la QoS, les ressources nécessaires sont réservées à chaque bond entre l'émetteur et le récepteur.

Guaranteed : garantie de bande passante, et pas de perte de trafic.

Controlled Load : fournit différents niveaux de services en best effort.

2. Differential Services (DiffServ)

DiffServ, quant à lui, est davantage destiné à être appliqué en cœur de réseau opérateur. Les différents flux, classifiés selon des règles prédéfinies, sont agrégés selon un nombre limité de classes de services, ce qui permet de minimiser la signalisation.

III.6.10.utilisation MPLS dans le cadre VPN

III.6.10.1. VPN

Les VPN (Virtual Private Network ou réseau privé virtuel) sont né dans le premier temps du besoin des entreprises, afin de pouvoir rendre leur réseau local privé accessible depuis l'extérieur.

Par la suite, les VPN ont été développé pour interconnecter les réseaux locaux distants quelques fois de plusieurs milliers de kilomètres.

Pour établir un tel lien ou tunnel entre deux sites les données passent la plus part du temps au travers d'un réseau publique comme internet. C'est pourquoi il est nécessaire de sécuriser les connections .plusieurs critères donc entrants en jeu, tel que :

- Authentification : identification de l'entité qui tente d'accéder au VPN.
- Confidentialité : garantie que seules les personnes autorisées sont en mesures d'accéder à l'information.
- Intégrité : protection du flux de données contre d'éventuelles tentatives d'altération.

III.6.10.2.La solution MPLS

Les composants des VPN /MPLS sont :

CE routeur (Customer Edge router) – routeur client connecté au backbone IP via un service d'accès (LS, PVC FR, ATM ...). Il route en IP le trafic entre le site client et le backbone IP.

PE routeur (Provider Edge router) : routeur backbone de périphérie auquel sont connectés des CE. C'est au niveau des PE qu'est déclarée l'appartenance d'une CE à un VPN donné. Le rôle du PE consiste à gérer les VPN en coopérant avec les autres PE et à commuter les trames avec les P.

P équipement (Provider device) : routeur ou commutateur de cœur de backbone chargé de la commutation des trames MPLS.

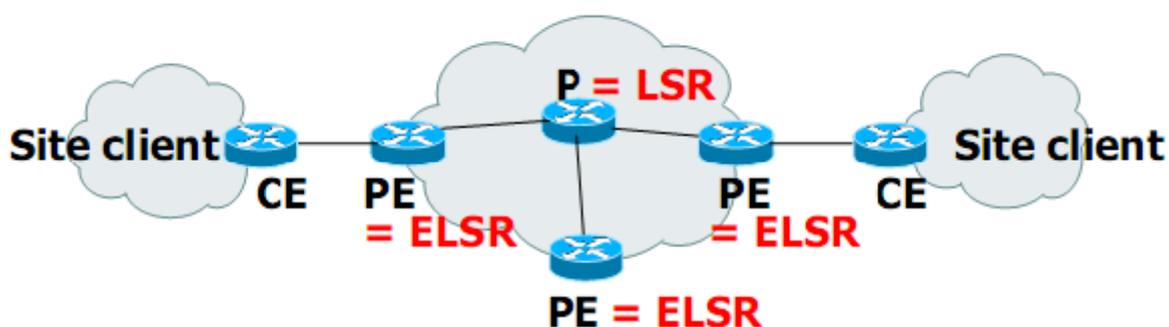


Figure III.10 : la solution MPLS

Conclusion

Le logiciel d'un réseau est composé de protocoles, règles qui permettent à des processus de communiquer. Ces protocoles peuvent être sans connexion ou orientés connexion. La plupart des réseaux disposent d'une hiérarchie de protocoles dans laquelle chaque couche fournit des services à la couche supérieure sans avoir à connaître les détails des protocoles des couches inférieures. Les piles de protocole sont le plus souvent fondées soit sur le modèle OSI soit sur le modèle TCP/IP. Ces modèles ont en commun les couches réseau, transport et application, les autres étant différentes.

Chapitre IV

La technologie DWDM

IV.1. Introduction

Une nouvelle étape de l'évolution de la transmission est quasiment prête, avec l'expérimentation de systèmes gérant les longueurs d'onde. Une nouvelle couche apparaît ainsi entre la fibre optique et les protocoles de transmission, par exemple SDH. C'est ce que l'on désigne par le terme "réseaux optiques", dans lesquels l'unité de base est le conduit optique, que l'on pourra utiliser, gérer et sécuriser comme aujourd'hui les conduits VC4 en SDH. Un conduit optique de 2,5 Gb/s ou de 10 Gb/s, et probablement 40 Gb/s ultérieurement, pourra être routé sur plusieurs longueurs d'onde successives et être protégé pour garantir sa capacité de transport.

La structure des réseaux optiques pourra être anneau en utilisant des multiplexeurs d'insertion-extraction optiques (OADM) et bénéficier ainsi de la sécurisation intrinsèque des structures en anneaux. L'arrivée des réseaux optiques va donc modifier de manière importante la nature.

La capacité et la gestion des réseaux de transmission. De même la question de l'achat et de la vente des longueurs d'onde (ne serait-ce que pour partager les coûts des infrastructures optiques), et de la commercialisation des conduits optiques vont se poser à court terme. Le futur réseau de transmission sera un réseau de longueurs d'onde transportant suivant le cas de la SDH.

Pour faire face aux besoins de raccordement et de bande passante dans les réseaux mondiaux, la solution WDM (Wavelength Division Multiplexing) a été proposée comme procédé de multiplexage optique à la fois rentable et hautement performante. Cette solution permettra de faire face à l'augmentation de la demande en haut débit et à l'accroissement des transferts de données.

IV.2. Multiplexage en longueur d'ondes

Le multiplexage en longueur d'onde WDM ou DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing est l'une des technologies qui a permis le rapide essor mondial de l'Internet ces dernières années. Alors que le débit par canal en multiplexage temporel (TDM) a augmenté de 2,5 Gbit/s à 10 Gbit/s et va bientôt atteindre 40 Gbit/s, le DWDM, basé sur la multiplication de la capacité de transmission des fibres optiques par la combinaison de 2 à 160 canaux sur

une même fibre, a réduit fortement le coût par bit, favorisant l'augmentation de la capacité de transmission des réseaux longue distance.

IV.2.1. Les fenêtres de transmission des fibres optiques

Il est facile de voir que cette approche permet d'augmenter la capacité d'un réseau de manière importante en présentant le gros avantage d'exploiter les fibres existantes sans modifier l'infrastructure. La courbe d'affaiblissement en fonction de la fréquence permet de définir des fenêtres de transmission autour des 1310 et 1550 nm dans lesquelles un seul canal numérique est acheminé. L'industrie et l'exploitation étaient sensibilisées par les points sensibles représentés par la tenue au câblage, la régularité géométrique de la fabrication de la fibre et des connecteurs, la dispersion du mode de polarisation (PMD), etc. cette technologie était encore pénalisée par l'existence, dans la fibre, d'un pic d'affaiblissement créé par les ions OH dans la bande E qui astreignait à séparer les deux fenêtres de transmissions lors de l'amplification.

Progressivement, furent résolus la sujétion du pic OH pour toutes les fibres, et les effets non linéaires qui apparaissent entre canaux de transmission voisins lorsque la portée est étendue et que le nombre de canaux sur la même fibre est augmenté.

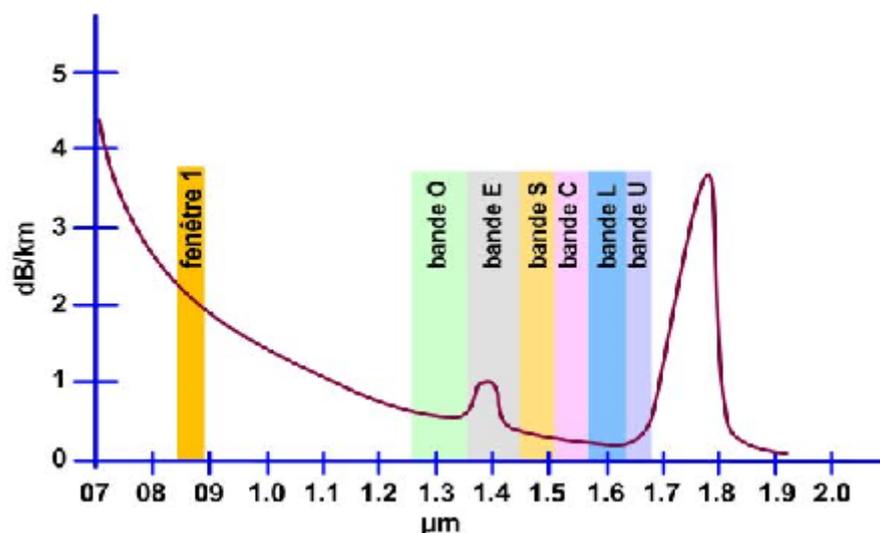


Figure IV.1 : courbe d'atténuation de la silice incluant les fenêtres de transmission.

Les bandes de transmission sont classées aujourd'hui par l'UIT-T selon la terminologie suivante :

- Bande O : de 1260 à 1360nm (originale) ;
- Bande E : de 1360 à 1460nm (étendue) –position de « pic d'eau » ;
- Bande S : de 1460 à 1530nm (short wavelength) ;
- Bande C : de 1530 à 1565nm (conventionnelle) ;
- Bande L : de 1565 à 1625nm (longue) ;
- Bande U : de 1625 à 1675nm (ultra long wavelength) ;

La bande de fréquence la plus utilisée est la bande C (1 530 - 1 565 nm). C'est le spectre amplifié par les amplificateurs EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). L'UIT a spécifié des numéros pour les fréquences. 192,1 THz est la fréquence 1, 192,2 THz est la fréquence 2, etc. C'est aussi la bande de fréquence sur laquelle l'atténuation est minimale.

IV.2.2.Principe de base pour WDM

Le **multiplexage en longueur d'onde** (Wavelength Division Multiplexing en anglais) est une technique utilisée en communications optiques qui permet de faire passer plusieurs signaux de longueurs d'ondes différentes sur une seule fibre optique.

A l'émission, on multiplexe N canaux (ou couleur) au débit nominal D ; à la réception on démultiplexe le signal global $N \times D$ en N canaux. Chaque fibre transporte donc un multiple de N canaux, ce qui est équivalent en termes de capacité à N fibres transportant chacune un canal.

La technologie du WDM est représentée par deux terminaux et un lien optique monomode les reliant. Le premier est un multiplexeur, le second est un démultiplexeur.

Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur. Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Etant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroné l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger de changer la longueur d'onde d'un des deux signaux. Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur

une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal.

Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'ondes données. Il a donc connaissance des longueurs d'ondes qui circulent dans le lien optique. Le démultiplexeur va donc pouvoir récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé.

L'intérêt de la fibre optique est que ces signaux ne peuvent se confondre, à la réception ils seront parfaitement distingués.

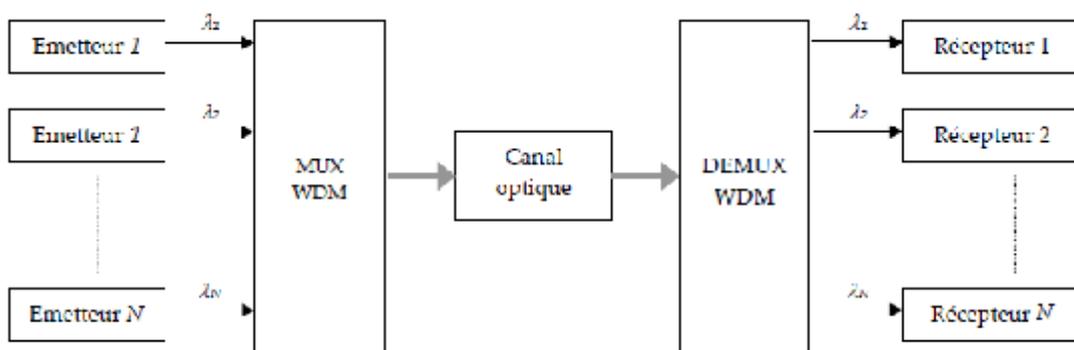


Figure IV.2 : schéma d'un multiplexeur en longueur d'onde.

IV.2.3. Composants et architecture d'un réseau WDM

La figure ci-dessous décrit l'architecture de base et le fonctionnement d'un réseau DWDM. Ce réseau se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons par fibres optiques. Les nœuds d'extrémité consistent en modulateurs-démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi que de multiplexeurs et de démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses de fréquences différentes. Les modulateurs convertissent les données alors que les démodulateurs reconvertissent les signaux optiques en données numériques. Les nœuds de commutation se composent de multiplexeurs et de démultiplexeurs à insertion-extraction, de commutateurs de longueur d'onde et de convertisseurs de longueur d'onde. Les multiplexeurs servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes aux fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux aux fins de commutation. Le commutateur de longueur d'onde interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie voulues. Les

convertisseurs de longueur d'onde ont pour fonction de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'onde surexploitées en longueurs d'onde disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies.

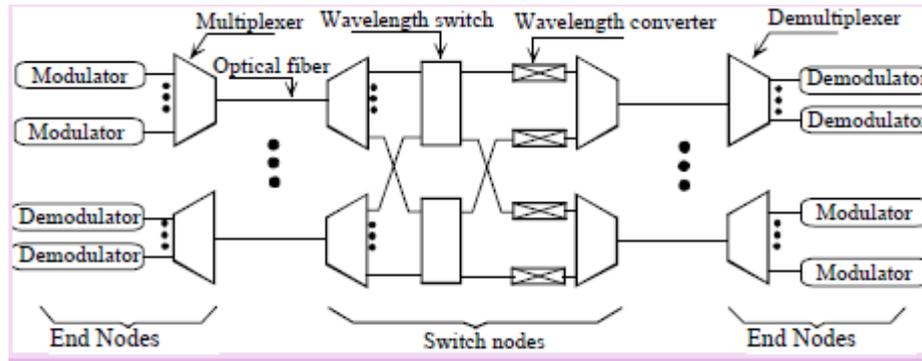


Figure IV.3 : composants et architecture d'un réseau WDM.

IV.2.4. Routage optique

Dans le cas des réseaux optiques WDM, on appelle demande de communication un couple (émetteur, récepteur) qui doit être connecté par un chemin dans le réseau. Un ensemble de demandes de communication est appelé une instance de communication.

Réaliser une instance de communication consiste à trouver un routage optique, c'est-à-dire un multi-ensemble de chemins reliant chaque demande de communication de l'instance et une affectation de longueurs d'ondes à ces chemins satisfaisant à la contrainte des réseaux WDM : deux chemins traversant une même fibre, ne peuvent pas se voir affecter la même longueur d'onde et un chemin doit utiliser une seule longueur d'onde tout au long des fibres parcourues (contrainte de continuité de longueur d'onde).

IV.2.5. Fonctionnement des réseaux optiques WDM

Les réseaux optiques fonctionnent pour la plupart en mode connecté : lorsqu'un émetteur veut se mettre en communication avec un récepteur, un chemin optique doit être assigné à la communication. un chemin optique est décrit par la donnée d'une suite de fibres allant de l'émetteur au récepteur et de la longueur d'onde utilisée sur chaque fibre. Cet ensemble de données constitue le routage de la communication.

L'affectation des longueurs d'onde doit satisfaire une contrainte forte : deux chemins optiques utilisant la même fibre ne peuvent être portés par la même longueur d'onde. Dans le cas contraire, les signaux se brouilleraient mutuellement et les informations qu'ils transportent seraient perdues.

Certains routeurs permettent de faire de la conversion de longueur d'onde, c'est -à-dire permettent à un chemin qui rentre dans le nœud avec une certaine longueur d'onde d'en ressortir avec une autre. On peut distinguer deux types de schémins de conversions :

- **La conversion totale**

Un chemin utilisant une longueur d'onde quelconque en entrée peut ressortir avec n'importe quelle autre longueur d'onde (toujours sous contrainte qu'il n'y ait pas deux chemins utilisant la même longueur d'onde sur la même fibre).

- **Conversion partielle**

La longueur d'onde particulière ne peut être convertie qu'en une longueur d'onde appartenant à un ensemble dépendant de la longueur d'onde de départ.

IV.2.6. Les différentes technologies de WDM

Il existe plusieurs technologies WDM, Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploité dans une fibre.

- La technologie WDM est dite dense (D-WDM) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz. Des systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques.
- Pour des espacements encore plus faibles, on parlera d'U-WDM : Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing. Ainsi, des systèmes à 10 GHz (0,08 nm) permettent d'obtenir 400 canaux optiques.
- la technologie du C-WDM est utilisée sur la deuxième fenêtre spectrale. Grâce à l'important espacement laissé à chaque canal.

Le C-WDM n'est pas compatible avec les amplificateurs optiques car la longueur d'onde utilisée ne permet pas une amplification à l'erbium. C'est notamment pour cette raison que le C-WDM est utilisé sur des distances plus courtes (entre 40 et 80 km).

	Fenêtre	Espacements	Canaux	Débits potentiels
C-WDM	2 ^{ème}	1,6-0,8	8-16	2,5 à 5Ghz
WDM	3 ^{ème}	0,6	32	320G à 128T
D-WDM	3 ^{ème}	0,4-0,2	80-160	3T à 12T
U-WDM	3 ^{ème}	0,08	400	10T à 40T

Tableau IV.1 : Les différentes technologies de WDM.

IV.2.7. Les avantages de la transmission WDM

Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller à 10 Tbit/s. en effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5Gbit/s et plus par canal. Par exemple un système à 16 canaux de 2,5 Gbit/s (soit 40Gbit/s) permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule fibre optique.

IV.2.8. inconvénients de WDM

A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertions. Pour compenser ces pertes, on utilise des amplificateurs. Mais il y a d'autres perturbations qui déforment le signal. En effet, des phénomènes non linéaires se produisent lors de la propagation du signal dans la fibre dépendamment du niveau de puissance véhiculé. Il apparaît des risques de diaphonie et d'interférence entre canaux existents. Ces risques sont liés principalement aux phénomènes d'auto-modulation du gain dans les amplificateurs optiques (EDFAs) ainsi qu'au passage d'une certaine quantité de puissance des canaux adjacents à travers les lobes secondaires des éléments d'insertion et d'extraction de canaux.

IV.3. Développement des capacités

Pour augmenter la capacité totale d'un système WDM, il est possible de jouer sur le débit transporté par chaque canal ou sur le nombre de canaux, ou bien sur les deux ou même temps.

- **Augmentation de débit par canal**

Les progrès de l'électronique rapide, l'intégration des composants électroniques, permettent de traiter dans les équipements d'extrémités, des débits de plus en plus élevés : l'électronique rapide à 40 Gbit/s est aujourd'hui dans le domaine de l'accessible est objet d'importants efforts de développement chez les fabrications de composants. Mais l'augmentation de débit rend aussi le signal de plus en plus sensible aux effets de la propagation, tant que linéaires que non linéaire a déjà la transmission à 10 Gbit/s est beaucoup plus complexe qu'à 2,5 Gbit/s parce que, d'une part, la dispersion chromatique ne peut plus être négligée et que, d'autre part la puissance nécessairement plus élevées a configuration de liaison identique) ne permet plus de négliger les effets non linéaires.

- **Augmentation du nombre de canaux WDM**

Depuis l'apparition des premiers amplificateurs à fibre, la bande d'amplification disponible n'a cessée d'augmenter. Les premiers amplificateurs couvraient 15nm et l'on est arrivé en quelques années à pouvoir utiliser la totalité de la bande C, qui va typiquement de 1530 à 1565 nm.

Pour augmenter le nombre de canaux, il faut diminuer l'espacement tout en restant dans la bande C : les limitations rencontrées sont liées au débit transmis par canal, qui détermine les spectres dans les signaux modulés et impose donc une valeur minimale de l'espacement. Le resserrement des canaux impose par ailleurs des tolérances de plus en plus faible sur la stabilité des sources et des filtres qui séparent les canaux dans le multiplexeur. Aujourd'hui, à 10 Gbit par canal, un espacement de 50 GHz sur fibre G.652 est parfaitement maîtrisé, on peut penser qu'un espacement de 25 GHz à 10 Gbit/s sera proposé par les industriels dans un avenir proche et que des systèmes à 40 Gbit/s par canal avec un espacement de 100 GHz seront également possible.

IV.4. Différents composants du réseau de communication optique pour le *WDM*

IV.4.1. Les liens optiques

Un lien peut être constitué de plusieurs fibres. Les liens comportent des sites d'amplification à des distances régulières. En plus de la fonction d'amplification, le site assure d'autres fonctions comme la compensation de dispersion chromatique. La fibre compensatrice est introduite entre deux étages d'amplification afin de limiter la pénalité en terme de bruit. La figure ci-dessous donne une représentation simplifiée et une représentation détaillée d'un lien.

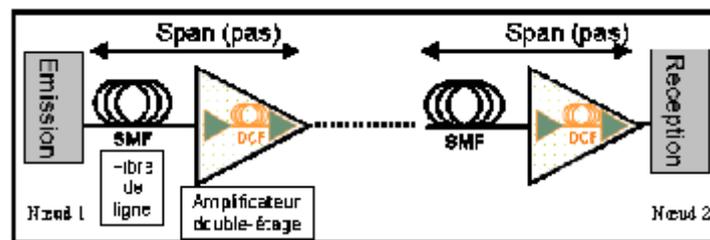


Figure IV.4: représentation d'un lien.

IV.4.2 Les amplificateurs optiques

Les amplificateurs optiques en lignes ou tout simplement les amplificateurs optiques sont nécessaires sur les liens en fibre optique entre les nœuds du réseau. Ils sont placés à des distances régulières. La distance entre les amplificateurs est appelée pas d'amplification (amplifier span) et elle dépend du type de fibre. Un amplificateur augmente le niveau de puissance du signal WDM. L'amplificateur le plus utilisé actuellement est l'amplificateur à fibre dopée à l'Erbium (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA).

L'un des grands avantages des amplificateurs optiques est qu'ils sont capables d'amplifier les signaux sur plusieurs longueurs d'ondes simultanément. Ceci est une nouvelle méthode pour augmenter la capacité d'un système : plutôt que d'augmenter le débit, il est possible de le garder constant et d'utiliser plus qu'une longueur d'onde. L'utilisation des amplificateurs optiques dans les réseaux WDM a considérablement diminué le coût des systèmes de transmission optiques en éliminant les régénérateurs électriques. En effet, à chaque position d'un régénérateur, un seul amplificateur optique pourrait remplacer tout un ensemble de régénérateurs. De plus, l'amplification permet aux signaux de parcourir plus de

distance Toutefois, les amplificateurs optiques présentent certains inconvénients qu'il faut savoir maîtriser, comme par exemple l'émission spontanée amplifiée ou l'augmentation des effets non linéaires.

IV.4.3. Convertisseur optique

Un convertisseur optique permet de modifier la longueur d'onde d'un signal optique. Ce composant est donc très utile pour les réseaux utilisant de nombreuses longueurs d'ondes. De nombreux travaux traitent des différentes techniques de conversion en longueur d'onde. On distingue la conversion optoélectrique qui consiste à traduire le signal optique en signal électrique puis le remettre optiquement sur une deuxième longueur d'onde. Un étage de régénération électrique du signal peut ajouter au niveau du convertisseur pour remédier aux déformations de l'information suite aux conditions de propagation.

IV.4.4. Filtre optique

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'ondes et en transmettant les autres. On caractérisera par conséquent le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de fréquence (ou de longueur d'onde) pour lesquelles il laisse passer la lumière et la bande atténuée c'est-à-dire le domaine de fréquence (ou de longueur d'onde) pour lesquelles il réfléchit la lumière incidente. Ces deux domaines spectraux peuvent être très larges notamment pour les filtres passe-haut et passe-bas utilisés couramment.

IV.4.5. Transpondeur optique

Un transpondeur est un dispositif qui effectue une double conversion optoélectrique : une première conversion transforme le signal client d'une porteuse optique dite non colorée (interface de type courte portée à 1300 nm, utilisée par les signaux clients), en signal électrique ; Une deuxième conversion transforme ce signal électrique en un signal optique dit coloré sur une longueur d'onde réservée aux transformations WDM.

Les transpondeurs actuels offrent la possibilité d'accorder la longueur d'onde d'émission sur tout ou une partie de la bande de transmission, la figure ci-dessous montre la structure d'un transpondeur

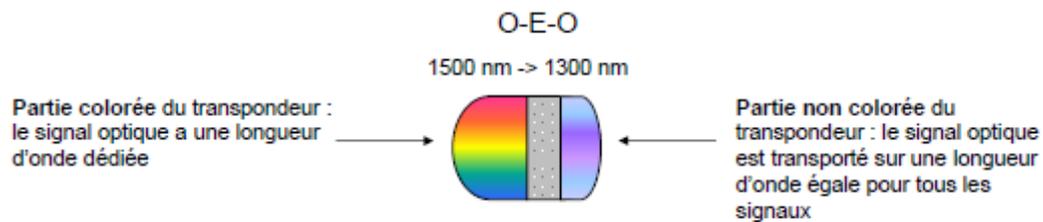


Figure IV.5 : représentation d'un transpondeur.

IV.4.6. Commutateurs optiques

IV.4.6.1. Répartiteur optique

Un répartiteur (fiber optical cross-connect, F-OXC) permet d'effectuer une fonction de commutation entre les fibres d'entrée et de sortie du routeur. C'est le plus élémentaire des commutateurs optiques et le moins coûteux en fabrication. Ce type d'équipements ne permet pas d'effectuer les opérations de multiplexage sur les signaux sortants. C'est pourquoi le répartiteur est dit insensible aux longueurs d'onde. Les fonctions d'extractions et d'insertion de signaux avec le terminal relié au routeur sont possible, mais c'est alors l'ensemble des canaux WDM multiplexés qui est extrait d'une fibre d'entrée ou inséré dans une fibre de sortie.

IV.4.6.2. Les brasseurs OXC (Optical Cross Connect)

Un brasseur est un composant de commutation sélectif en longueur d'onde. Cela signifie que chaque canal WDM peut être dirigé vers une fibre de sortie indépendamment des autres canaux multiplexés sur la même fibre d'entrée.

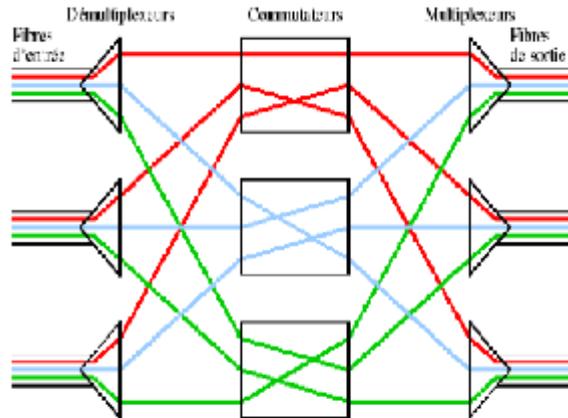


Figure IV.6 : Brasseur (OXC).

La composition d'un brasseur est représentée sur la figure IV.6. Une série de démultiplexeurs située aux extrémités des fibres d'entrée permet dans un premier temps de démultiplexer les signaux entrants et de diriger spatialement chaque groupe de canaux WDM à la même longueur d'onde vers un commutateur photonique particulier. Ces commutateurs sont contrôlés électroniquement et appliquent sur les groupes de canaux des fonctions de commutation indépendantes les unes des autres. Les canaux WDM sont enfin remultiplexés sur chaque fibre de sortie. Associé à des multiplexeurs à insertion /extraction, un brasseur possède une capacité de routage plus étendue, puisque ainsi les canaux WDM peuvent être commutés, extraits ou insérés, comme il est représenté sur la figure suivante.

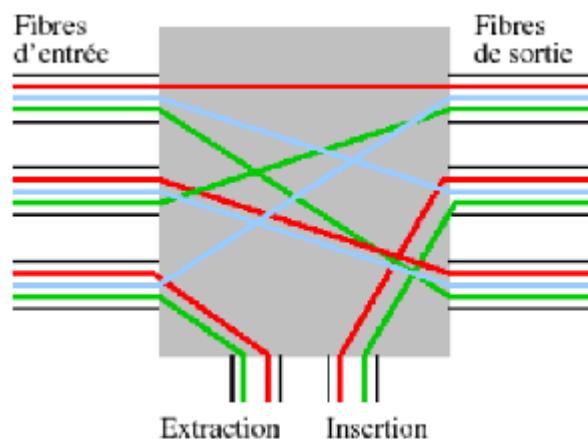


Figure IV.7: Brasseur avec MIE.

IV.4.6.3. Multiplexeur à insertion/extraction optique

Le WDM permet, sur une même fibre, l'acheminement de flux numériques dans des canaux optiques ayant des longueurs d'onde différentes. Les OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) sont des modules multiplexeurs qui rajoutent ou enlèvent une ou plusieurs longueurs d'ondes vers la destination appropriée sur le réseau, le tout sans passer par une conversion électrique du signal. Ce dispositif ajoute au réseau de la flexibilité dans la gestion de lambdas.

La montée en puissance des réseaux tout-optique nécessite des OADM reconfigurables à distance (R-OADM) qui combinent l'utilisation d'un OADM et de commutateurs. Ainsi, il est possible de rajouter ou enlever n'importe quelle longueur d'onde sur un port quelconque sans intervention manuelle.

Sur le schéma OADM, on voit que deux longueurs d'onde sont enlevées de la fibre pour être acheminées vers un autre site raccordé au nœud. Les autres longueurs d'onde transitent par le nœud sans conversion vers l'électrique, avant d'être réinjectés dans la fibre.

Les OADM sont utilisables sur des liaisons point à point. Dans les réseaux maillés, la commutation de canaux optiques effectuée par des commutateurs optiques ou brasseurs optiques (OXC) offre davantage d'accès et permet une plus grande sécurité.

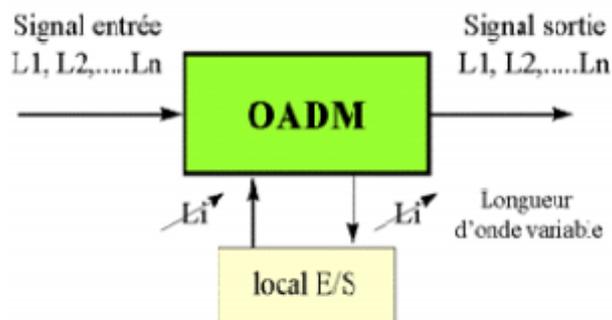


Figure IV.8 : multiplexeur à insertion /extraction optique

IV.5. Les contraintes physiques

IV.5.1 La dispersion modale de polarisation (PMD)

La PMD est causée par la forme elliptique de la fibre qui fait que différentes polarisations du signal se propagent avec différentes vitesses de groupe. Quand la lumière est injectée dans une fibre optique, elle se divise généralement en deux différentes polarisations.

La PMD a lieu dans la fibre optique car la lumière dans chaque plan de polarisation dans la fibre peut se propager à une vitesse différente, menant à une distorsion de la forme d'onde.

La PMD constitue un grand obstacle pour les systèmes très rapides opérant à des débits de plus de 10 Gb/s. Elle constitue l'une des principales barrières contre le passage aux 40 Gb/s.

IV.5.2. Les effets non linéaires

Les effets non linéaires sont des effets parasites qui dégradent les performances des systèmes de télécommunications sur fibre quand les puissances véhiculées deviennent élevées. Aujourd'hui, les systèmes de transmission à haut débit (WDM) et grande distance utilisent des amplificateurs de puissance à l'émission, ce qui conduit à des puissances injectées dans la fibre très élevées et des effets non linéaires non négligeables.

IV.5.3. La diaphonie « Crosstalk »

La diaphonie peut être provoquée par l'interférence des signaux sur différentes longueurs d'onde (interférence d'inter-bande) ou par l'interférence des signaux sur la même longueur d'onde (interférence d'intra-bande). L'interférence d'inter-bande doit être considérée en déterminant l'espacement de canal. Dans certains cas, l'interférence inter-bande peut être enlevée par l'utilisation des filtres appropriés. L'interférence d'intra-bande se produit habituellement dans des nœuds de commutation en des signaux multiples de différentes sorties. Cette forme d'interférence est plus d'un souci que l'interférence d'inter-bande parce que l'interférence d'intra-bande ne peut pas être facilement enlevée par le filtrage. Le degré d'interférence d'intra-bande en partie des architectures de commutateur et de nœud. Une approche pour réduire l'interférence intra-bande est de présenter les filtres sélectifs de longueur d'onde supplémentaire dans un nœud.

IV.5.4. La dispersion chromatique

La dispersion chromatique est considérée comme le phénomène le plus limitant pour les réseaux WDM à débits supérieurs à 2.5 Gb/s et utilisant des fibres monomodes, c'est la raison pour laquelle on désigne souvent la dispersion chromatique par le terme générique *dispersion*. La gestion de la dispersion est une partie très importante de la conception de systèmes de transmission WDM. On peut utiliser plusieurs techniques pour réduire l'impact de la dispersion chromatique dont les fibres de compensation de la dispersion.

Lorsque la dispersion chromatique dépasse un seuil tolérable, le signal ne pourra plus être reçu. Pour éviter cela, il est possible de placer des unités de compensation de la dispersion dans des endroits bien définis du réseau. Un moyen très utilisé est le placement des fibres de compensation de dispersion. La méthode est assez simple : une fibre de ligne de longueur L_i (km) avec une dispersion D_i (ps/nm.km) peut être compensée en utilisant une bobine de fibre de longueur L_j (km) et de dispersion D_j (ps/nm.km) tel que :

$$D_i L_i + D_j L_j = 0$$

La somme des deux termes donne la quantité totale de la dispersion accumulée qu'un signal peut avoir après propagation dans chacune des deux fibres. Le but est donc d'obtenir une dispersion totale à la fin du canal de transmission aussi faible (proche de 0) que possible. La seconde fibre utilisée est une fibre à haute dispersion et son profil de dispersion est opposé à celui de la première.

Chapitre V

Présentation du backbone d'Algérie Telecom

V. Introduction

ALGERIE TELECOM a le statut d'une entreprise publique, sa naissance remonte au 5 aout 2000, après une restructuration visant le secteur des postes de télécommunications Algériens, séparant ainsi les domaines d'activités postales de ceux des Télécommunications.

ALGERIE TELECOM effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont :

- Réseaux public de transmission de données par paquets X25 (DZPAC) 7600 accès ;
- Backbone national de transmission à 10 Gbits/s (SDH) et 10 Gbits/s (WDM) ;
- Backbone régional de transmission à 2.5 Gbits/s ;
- Réseau national rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités ;
- Plus de 1000 communes rattachées en fibre optique.

Dans ce qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service des liaisons de transmission par fibre optique au sein du centre CA2 d'ALGERIE TELECOM de wilaya de Tizi-Ouzou. Les différentes étapes à suivre sont :

- Configuration des équipements.
- Test de la liaison optique.

V.1. Configuration SDH service

Cette partie décrit comment configurer des services SDH sur L'imanager d'Optix T2000.

V.1.1. cahier des charges

Dans cette exemple on a besoin de quatre NE (Network Equipement), utilisant quatre optix 155/622.le tableau suivant présente différents services échangés par les NEs.

Services	Nombre de service E1	Protection de service
NE1 <-> NE2	8	OUI
NE1 <-> NE3	6	OUI
NE1 <-> NE4	4	NON
NE2 <-> NE3	2	OUI
NE2 <-> NE4	7	NON
NE3 <-> NE4	4	NON

Tableau V.1 Les différents services échangés par les NEs.

V.1.2. planification

On se base sur les données du cahier des charges, on a les étapes suivantes à suivre :

- Schématiser le réseau SDH.
- Allouer une adresse IP a chaque NE.
- Information sur les cartes des NE.
- Connexion des fibres optiques.
- Attribution des timeslot.
- Traçage de l'horloge.

V.1.2.1.Réseau SDH

Le schéma du réseau est donné par la figure suivante :

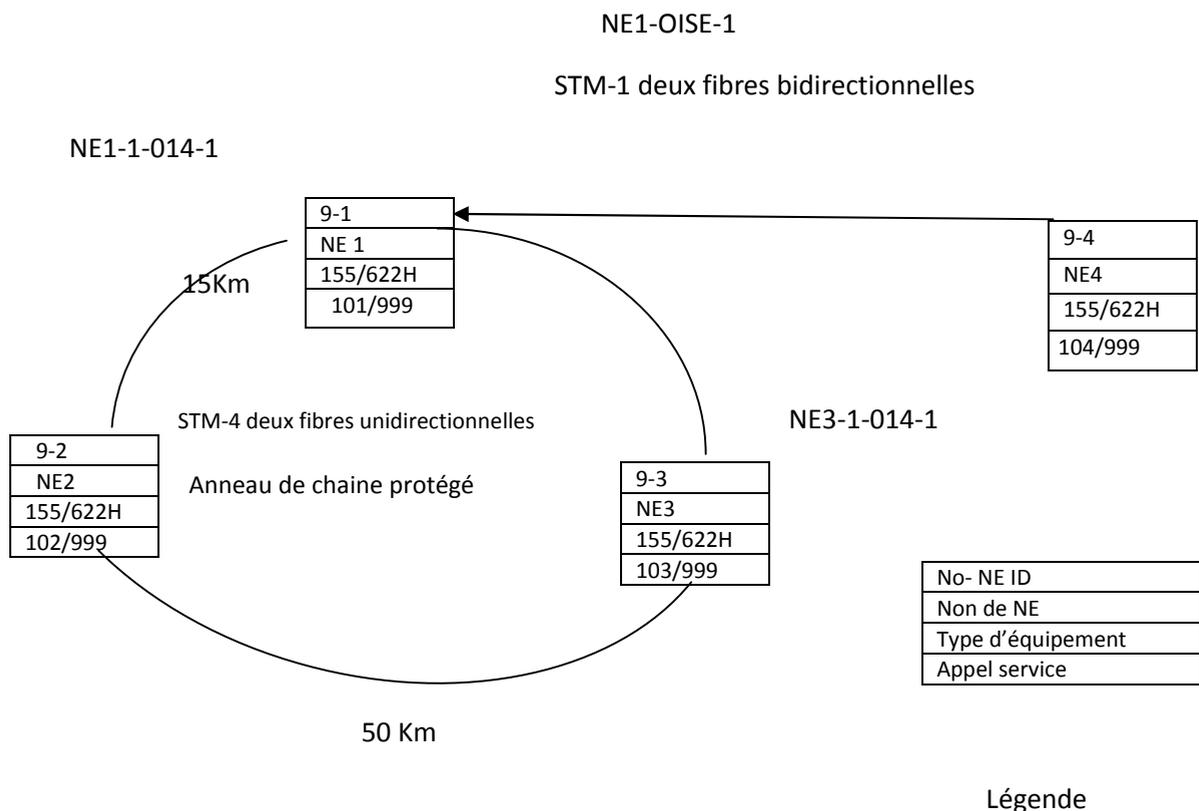


Figure V.1.Schéma synoptique du réseau SDH.

V.1.2.2. adressage IP

Cette étape consiste à attribuer à chaque équipement une adresse IP.

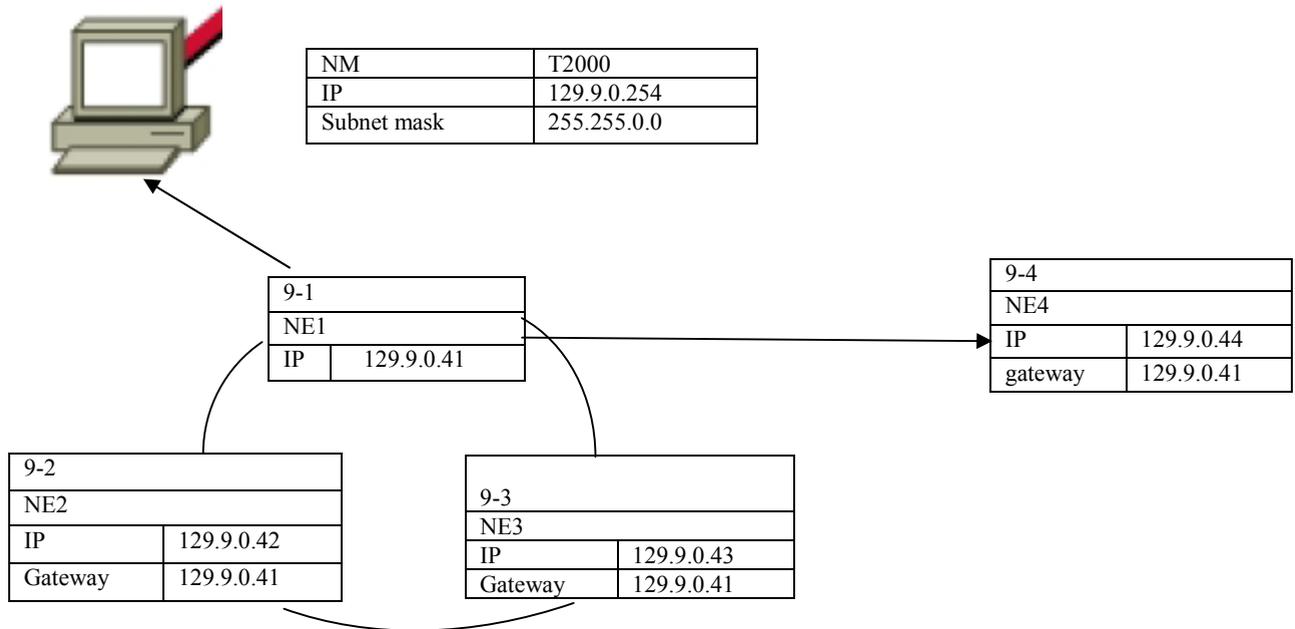
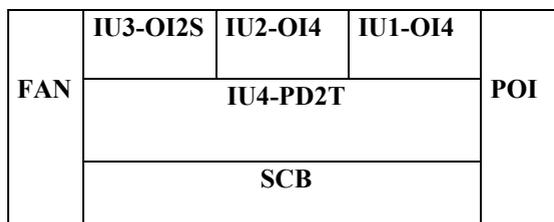
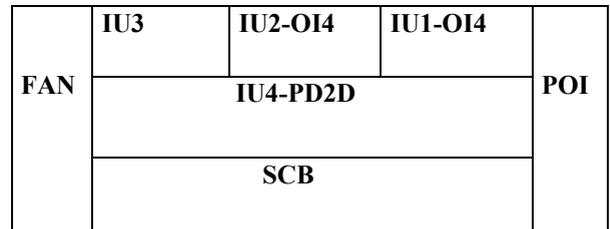


Figure V.2. Schéma synoptique des adresses IP de chaque NE.

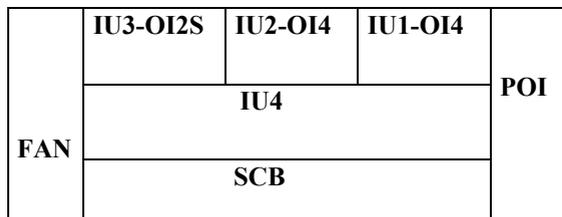
V.1.2.3. Information sur les cartes



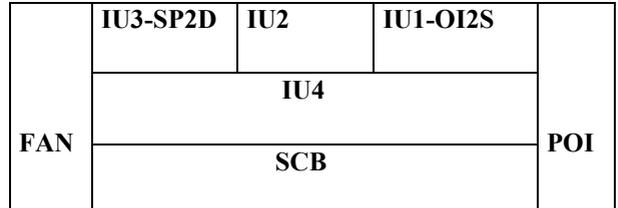
NE1



NE2



NE3



NE4

Tableau V.2. Schéma asymptotique des cartes de chaque NE

V.1.2.4. connexion des fibres optiques

Le tableau suivant montre les différentes connexions par fibre optique entre les différents NEs.

Les informations de la station locale				Les informations de la station opposée			
NE name	slot	Boardname	Port No	NE name	slot	Boardname	Port No
NE1	IU1	OI4	1 OUT	NE1	IU2	OI4	1IN
	IU1	OI4	1IN		IU2	OI4	1 OUT
NE2	IU1	OI4	1 OUT	NE2	IU2	OI4	1IN
	IU1	OI4	1IN		IU2	OI4	1 OUT
NE3	IU1	OI4	1 OUT	NE3	IU2	OI4	1IN
	IU1	OI4	1IN		IU2	OI4	1 OUT
NE4	IU1	OI2S	1 OUT	NE4	IU2	OI2S	1IN
	IU1	OI2S	1IN		IU2	OI2S	1 OUT

Tableau : V.3. Connexion des fibres entre les différents NE.

V.1.2.5.Allocation des timeslot

Station	NE1	NE1	NE1	NE2	NE3	NE4
timeslot	1-OI2S-1 3-OI2S-1		1-OI4-1 2-OI4-1	1-OI4-1 2-OI4-1	1-OI4-1 2-OI4-1	
1# VC-4	s : 17-20 t2 :1-4 t4 :15-18 t2 :5-11		S : 1-8 T4 : 1-8 t4 :1-8 S : 9-14 T4 :9-14 S : 21-27 S : 28-30	S : 15-16 T4 :9-10 t3 :7-8 T4 :11-17		T3 : 9-11

Tableau V.4.allocation des timeslot aux différents NE.

Dans la figure V.4 t3 et t4 indiquent les cartes dans les slots IU3 et IU4 respectivement, le numéro après tn indique le numéro de chemin E1. Par exemple, « t4 :1-8 » indique les chemins E1. 1-8 de la carte dans le slot 4.

Les nombres au-dessus du trait horizontal indiquent le numéro du timeslot occupé par des chemins E1. Pour exemple, « S : 1-8 » indique que le chemin E1 occupe des timeslot 1-8 d'un VC-4.

V.1.2.6. traçage de l'horloge

L'Optix 155/622H peut tracer l'horloge externe BITS (Building Integrated Timing Supply), ligne horloge, horloge de tributaire et horloge interne. Un réseau doit tracer au moins deux horloges dans le but de protection. Habituellement, l'horloge de tributaire n'est pas utilisée en tant que horloge de référence du sous-réseau. Dans cet exemple, les NEs dans l'anneau de protection sont moins de six, ainsi tous les NEs peuvent tracer l'horloge primaire dans la même direction. Le tableau suivant énumère la priorité de source d'horloge dans NE1-NE4.

NE	Première source d'horloge	Première source d'horloge
NE1	Source d'horloge externe (bits)	Source d'horloge interne
NE2	2-OI4-1	Source d'horloge interne
NE3	2-OI-1	Source d'horloge interne
NE4	1-OI2S-1	Source d'horloge interne

Tableau V.5. : Sources d'horloge pour les différents NE.

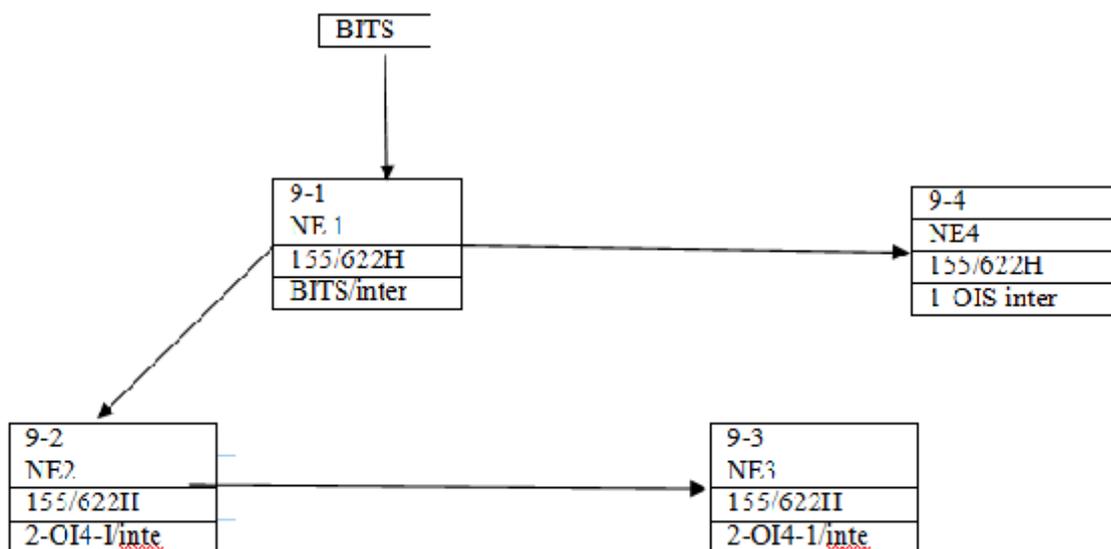


Figure V.3.acheminement d'horloge entre les différents NE

V.2.Architecture du réseau

Le backbone algérien fibre optique est constitué de :

- Deux systèmes d'anneaux SDH parallèle à (10 Gbits/s et 2.5 Gbits/s) relient les trois grandes villes Alger-Oran-Constantine en bouclant le trafic par la cote et les hauts plateaux.
- Un système d'anneau SDH à 2.5 Gbits /pour la connexion du grand sud.
- Une passerelle à 10 Gbits/s entre bougezoul et laghouat pour l'interconnexion du backbone nord sud.
- Une boucle DWDM à 80Gbits/s
- Des boucles régionales à 2.5 Gbits/s (est ouest sud)
- Les figures suivantes représentent l'architecture du réseau backbone d'ALGERIE TELECOM.

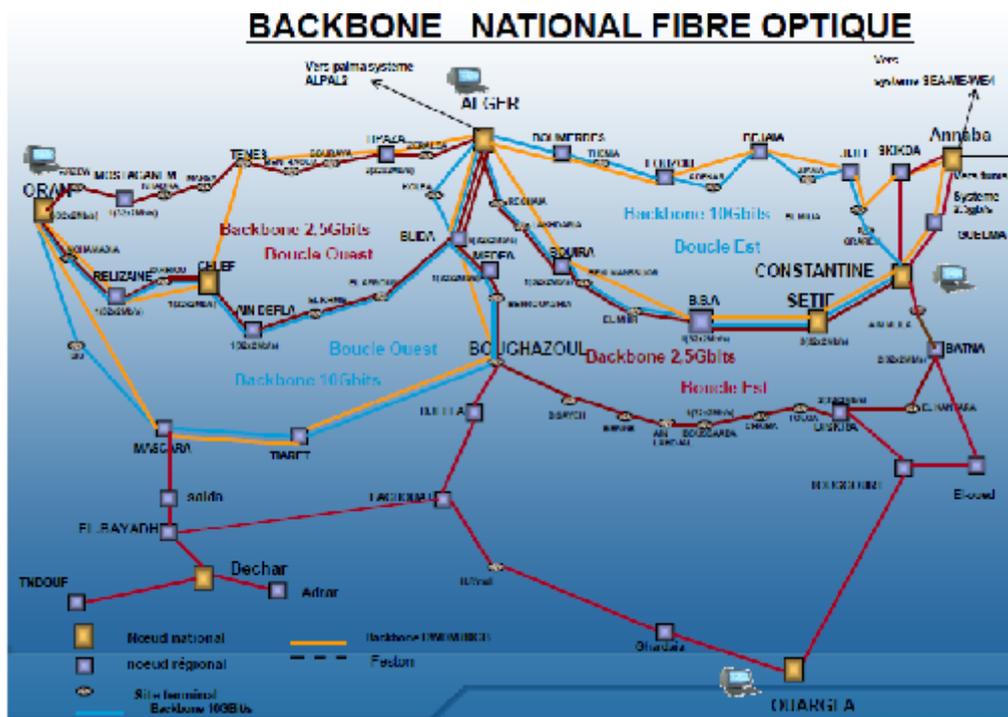


Figure V.4. Backbone national fibre optique.

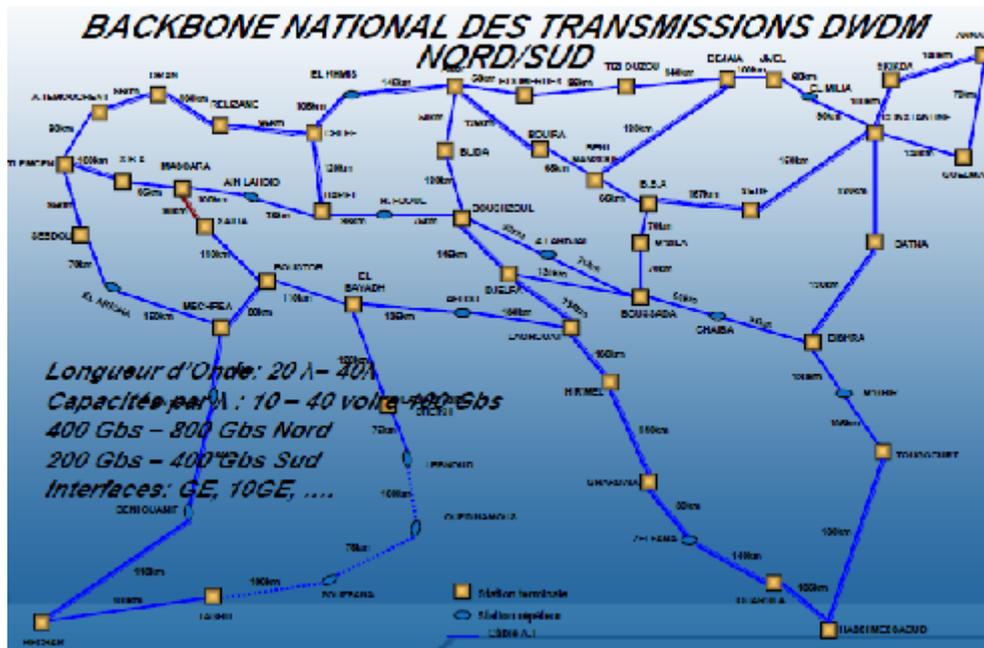


Figure :V.6. Backbone national nord/sud.

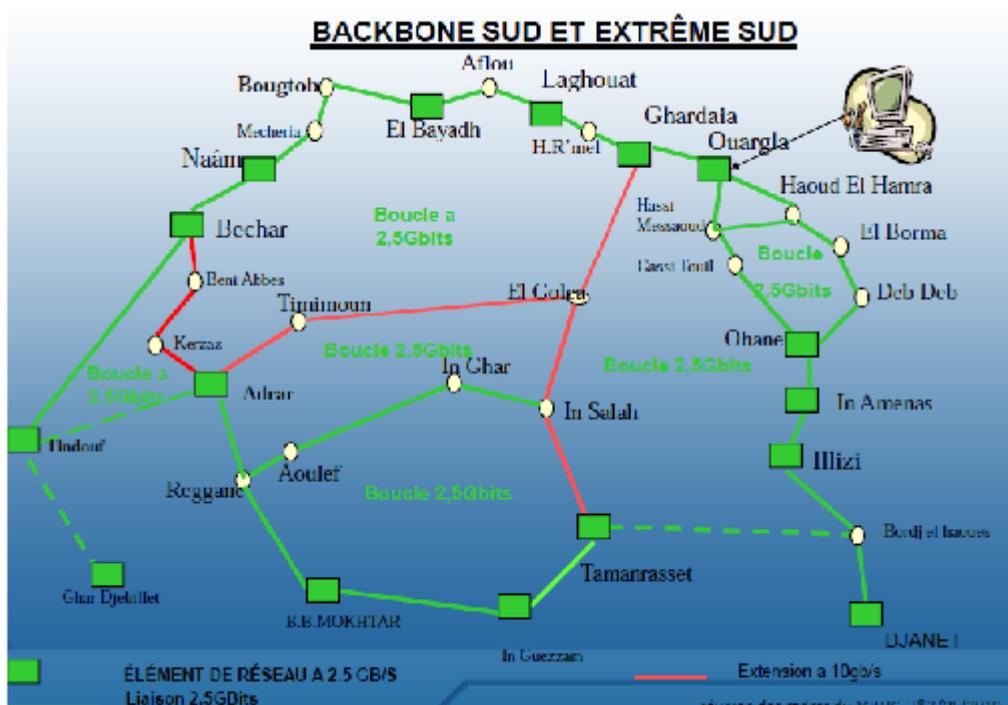


Figure : V.7. Backbone national sud.

V.2.1.synchronisation du réseau Backbone national 10 Gbits/s (boucle est).

A l'instar des réseaux développés, **ALGERIE TELECOM** a mis en œuvre une infrastructure maillée en fibres optique afin de préparer les accès aux réseaux de la technologie de l'information et de la communication.

- Réseau SEA-ME-WE2, capacité potentielle : 565 Mbits/s (7600 circuits) mise en service : juin 1994.
- Alger-Palma (Espagne) ALPAL2, capacité potentielle : 2.5Gbits/s extensible à 10 Gbits/s selon la technologie SDH et la technique DWDM. Mise en service commerciale : Mai 2002. Upgrade 10 Gbits/s fin juillet 2006
- Réseau SEA ME WE 4 capacité potentielle a 60 Gbits/s extensible a 640Gbits/ selon la technologie SDH et la technique DWDM. (Multiplexage par longueur d'onde). Mise en service commerciale 22 Novembre 2005.

V.2.2.réseau international



Figure V.8. réseau international.

- Liaison en service : ALGERIE-MAROC, capacité potentielle : 2.5GB/S et six (06) fibres de réserves disponibles.
- Liaison en service : ALGERIE-LYBIE, capacité potentielle : 622Mbits/S et six (06) fibres de réserves disponibles.

- ✓ Cinq (05) noeuds Secondaires:
Alger II, Annaba, Sétif, Chlef, Oran.



IV. Architecture du Backbone IP/MPLS

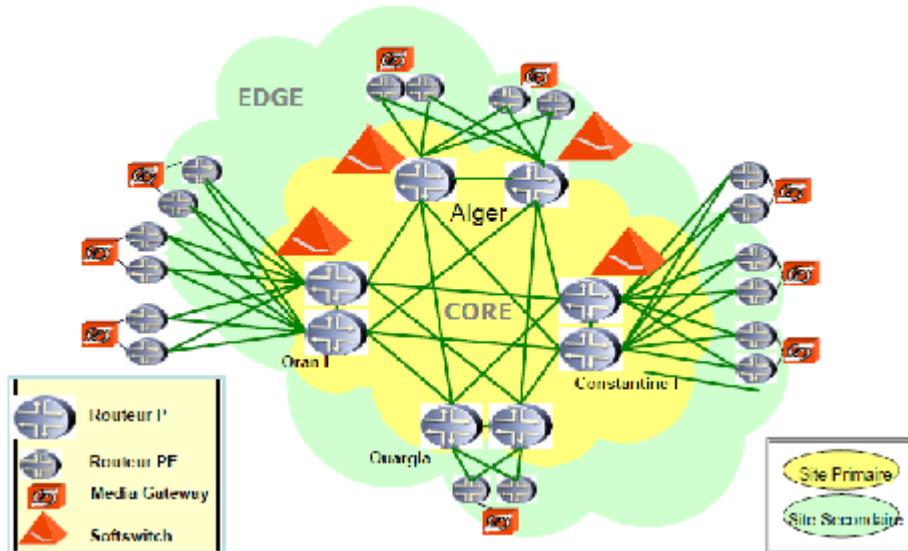


Figure V.11.architecture du backbone IP/MPLS.

V.3. Capacité du Réseau

- Routeurs Core: d'une puissance de commutation de 320Gp/s optimisée pour les services basés sur MPLS et prêt à supporter les interfaces de 10Gbps.
-



Figure V.12.routeur core.

- Routeurs Edge: Possède une très large gamme d'interface qu'il supporte allant des interface sériels de 64kbps jusqu'au niveau SDH de STM-16.



FigureV.13.routeur Edge.

V.3.1. Equipements du réseau

1. Softswitch

Est un Media Gateway Controller de nouvelle génération.

2. Media Gateway

Fonctionne principalement comme médiateur entre les réseaux traditionnels TDM et les nouveaux réseaux multiservices basés sur IP.

3. Réalisation 2010 réseau national

- ✓ Upgrade du Réseau National DWDM 80 Gb à 110 Gb pour le Nord et de 40 GB à 60 GB pour le Sud.
- ✓ Réalisations 2010 réseau nationale Télécom
- ✓ Parachèvement de la boucle du Grand sud
- ✓ Upgrade en DWDM des réseaux régionaux
- ✓ Upgrade en DWDM des réseaux urbains
- ✓ Implémentation de nouvelles technologies (IP) pour les
- ✓ Faisceaux Hertziens Numériques avec des accès Gb Ethernet
- ✓ (haut débit). Télécom
- ✓ Introduction des équipements d'agrégation Ethernet.

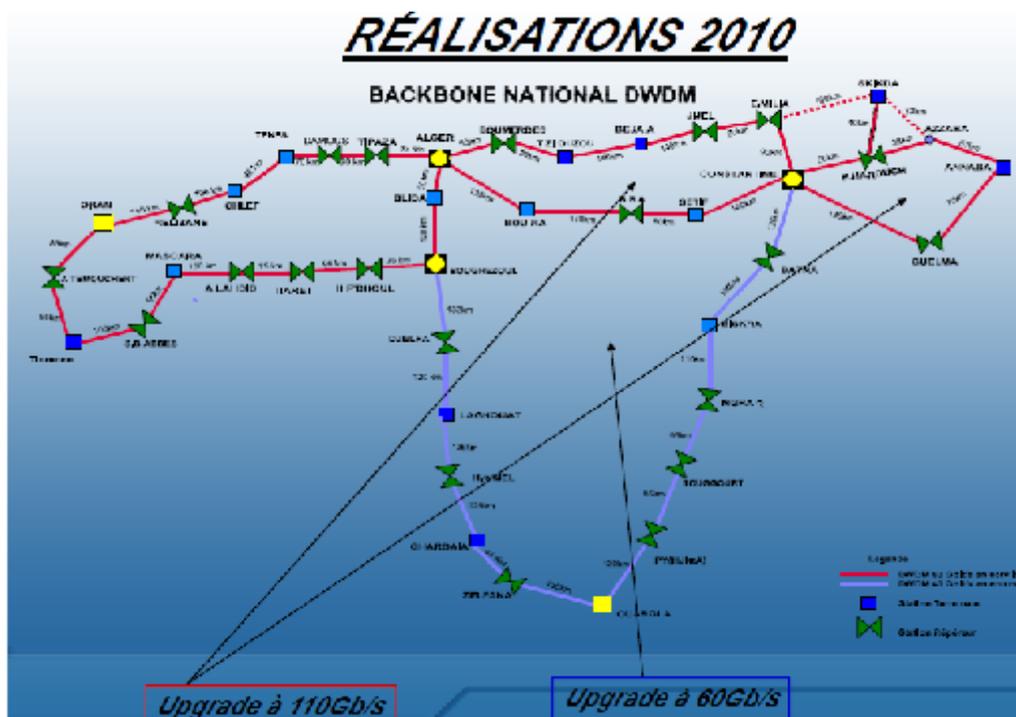


Figure V.14. Réalisation 2010.

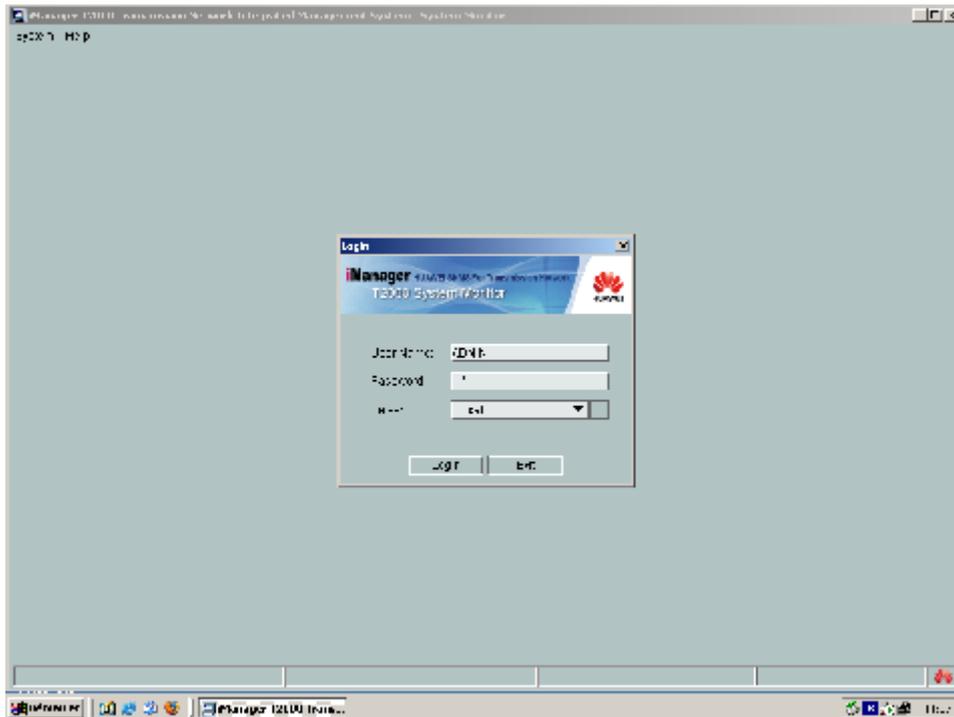


Figure V.16. Fenêtre de lancement de T2000.

V.4.3. Recherche de l'équipement

Elle est obtenue en cliquant sur « file » en suite « search for NE» puis « start »

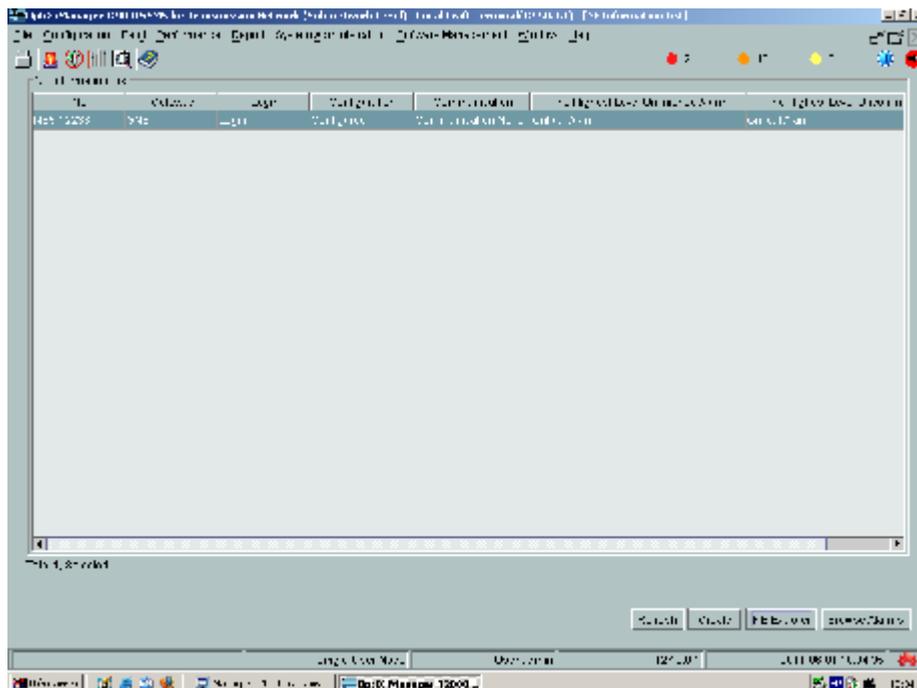


Figure V.17. Fenêtre de la recherche de l'équipement.

V.4.4. configuration de l'équipement

Cette configuration se fait en suivant les étapes suivantes

- Create : en cliquant sur l'option « create » de la figure précédente, une autre fenetre s'affiche afin d'insérer un « user name » et un « password », permettant d'accéder à la fenetre contenant les différentes configuration options notamment celle de configuration.
- Mode de configuration : le mode de configuration de l'équipement se divise en trois choix :
 - ✓ Manuel configuration : nous permet de configurer manuellement l'équipement ;
 - ✓ Copy NE data : nous permet de copier la configuration directement à partir d'un autre fichier.
 - ✓ Upload : cette étape nous permet d'extraire l'ancienne configuration de l'équipement pour d'éventuels changements.

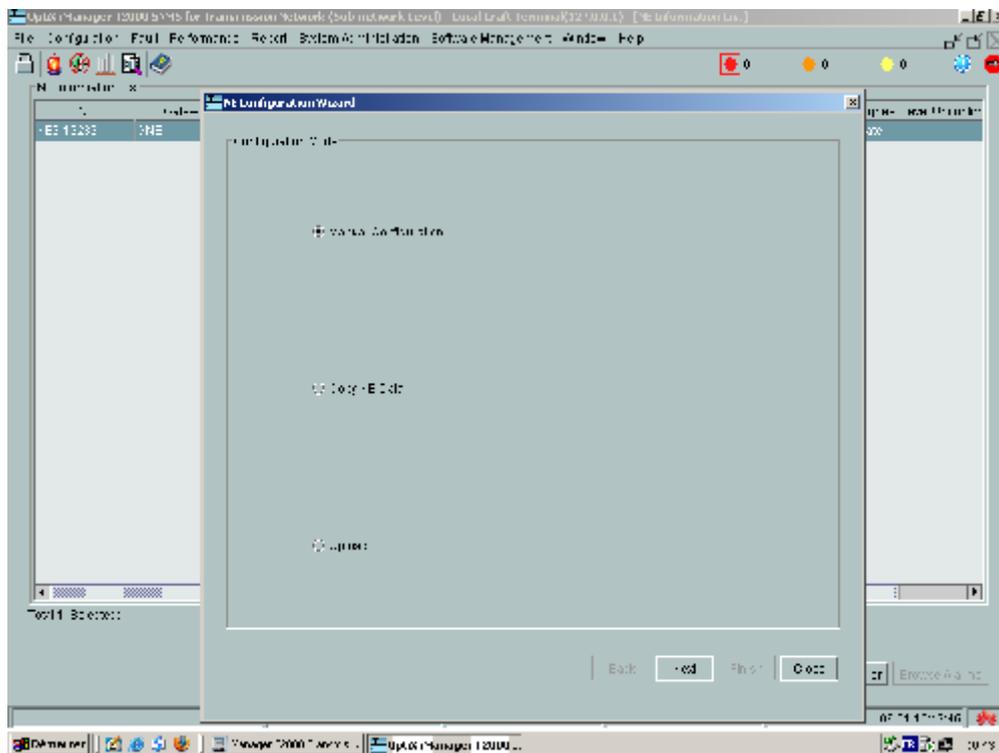


Figure V.18. Les différents modes de configuration.

La création et l'identification de tous les NEs, se fait en donnant a chaque fois les informations correspondantes à chaque NE.

Par exemple pour NE1 :

ID : 1

Extended ID : 9

Name : NE1

Gateway Type : IP Gateway

IP Address: 129.9.0.1

Port: 1400

NE User: root (default)

Password: password

Leave “preconfiguration” unselected

Les mêmes étapes seront suivies pour la création des autres NEs(NE2-NE3-NE4).

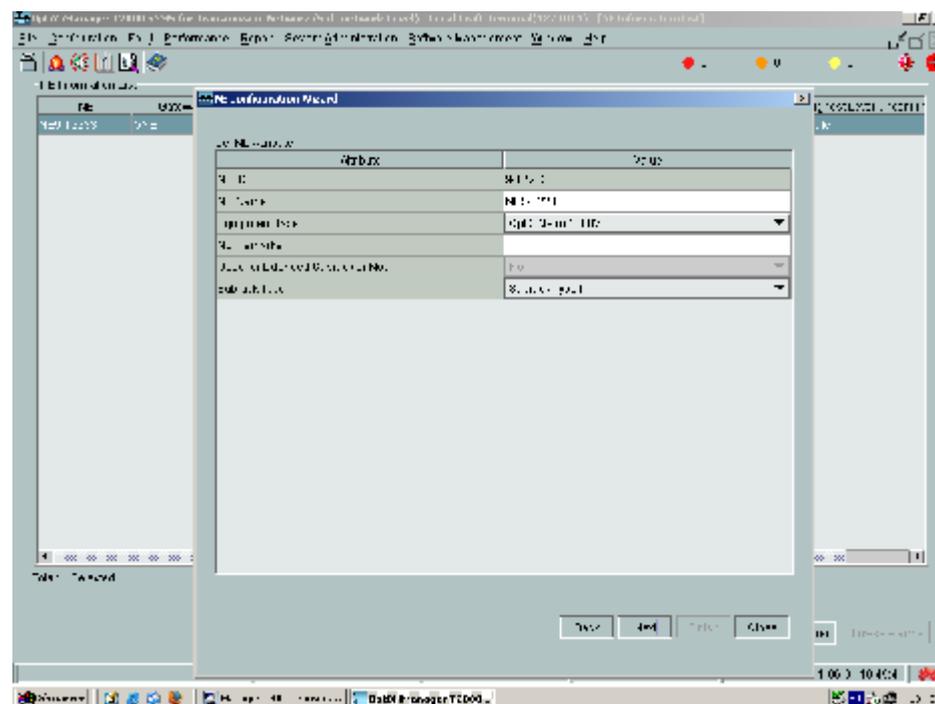


Figure V.19. Création de NE1.

V.4.5. Configuration des différentes cartes

Dans le menu principal en sélectionne [view/main topology view], tout les NEs créés apparaissent, en commence par NE1, en cliquant sur NE1, on sélectionne la configuration manuelle, un diagramme représentant les cartes existantes dans l' Optix 155 /622H apparait en se basant sur les informations données dans la figure IV.10. Sur le diagramme des cartes, on sélectionne les slots et les cartes correspondantes. On termine cette étape par une vérification. On répète la même chose pour la configuration des cartes des autres NEs (NE2, NE3, NE4).

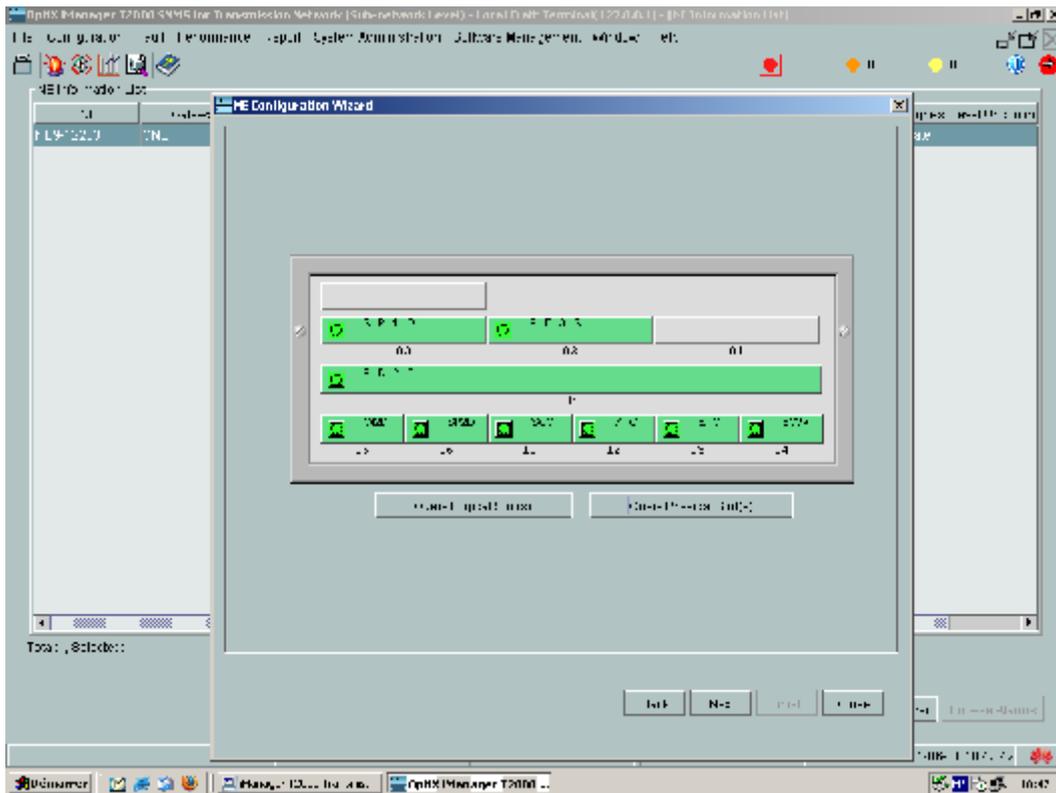


Figure V.20.configuration des différentes cartes

V.4.6.réaction de différentes liaisons entre les NEs

Avant de commencer cette étape, il faut s'assurer que toutes les connections sont bien faites, de bien choisir les cartes et les interfaces. Pour créer les différentes liaisons entre les différents NEs, on se réfère au tableau V.2.

Dans le menu principal, on clique sur l'icône, on sélectionne NE1 comme étant la source. Pour « select fiber source », on sélectionne 3-OI2S comme source de la carte et le port 1 comme le port source. Même chose coté du NE4 (récepteur) 1-OI2S comme carte réceptrice est le port 1 comme récepteur port.

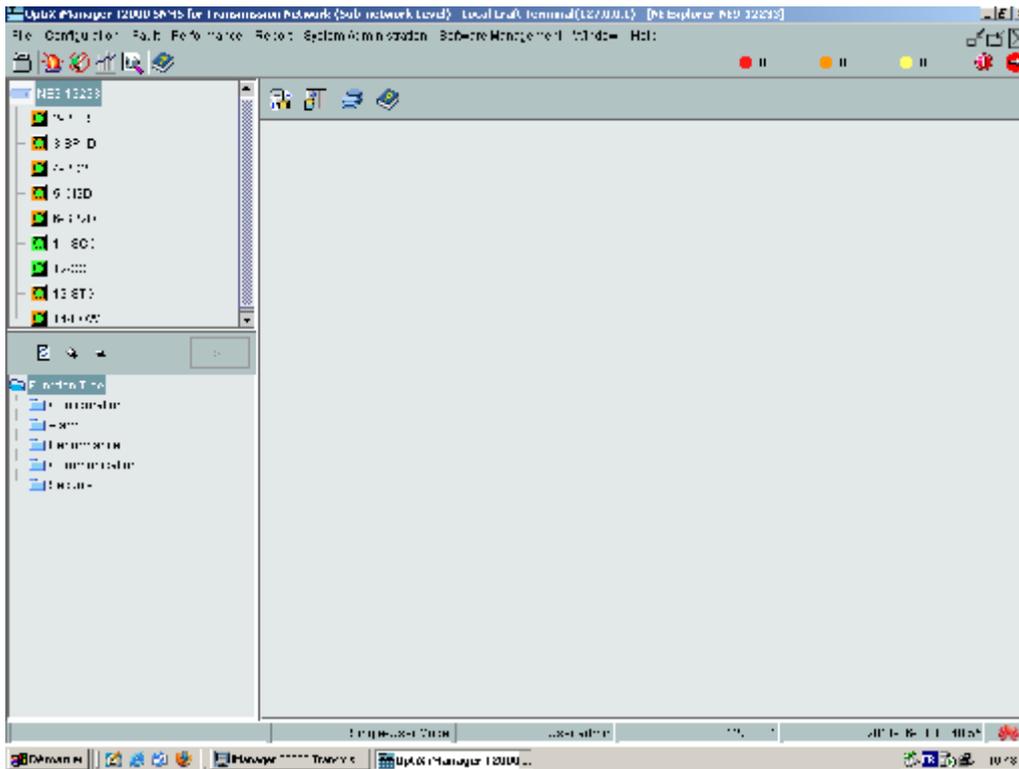


Figure V.21. création des différentes liaisons entre les NEs.

Dans la fenêtre de dialogue (figure V), on fait entrer les attribues de la fibre et on clic sur « apply ». On répète les mêmes opérations pour créer les autres liaisons entre les NEs restants et cela on se basant sur les données du tableau. V.2.

V.4.7. création d'une topologie sous-réseau

Dans cette partie on crée une topologie sous-réseau, on donne un nom pour les sous réseau crée, et on sélectionne tous les NEs (NE1, NE2, NE3, NE4) se trouvant dans « not selected object » pour les ajoutés dans « selected object ».

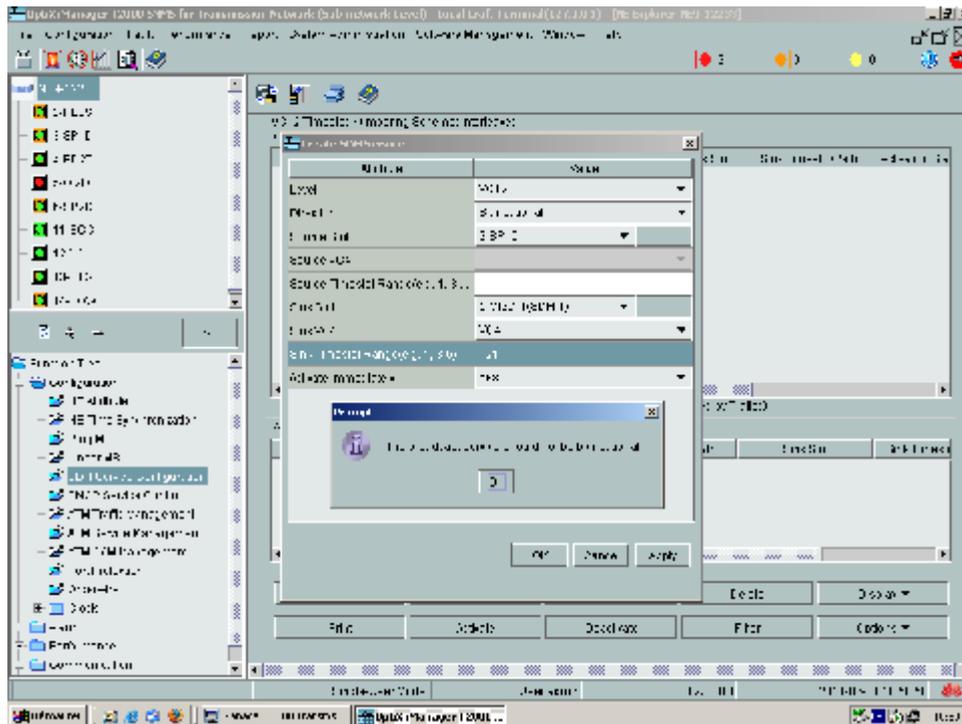


Figure V.22. Création d'une topologie sous réseau.

V.4.8. création d'un sous réseau avec protection

Pour cela on entre dans « create protection subnet », on fait entrer le nom du sous réseau donnée auparavant, on sélectionne la capacité (un anneau STM-4, 2 fibres unidirectionnel). En fin on ajoute NE1, NE2, NE3 au sous réseau avec protection ainsi créer.

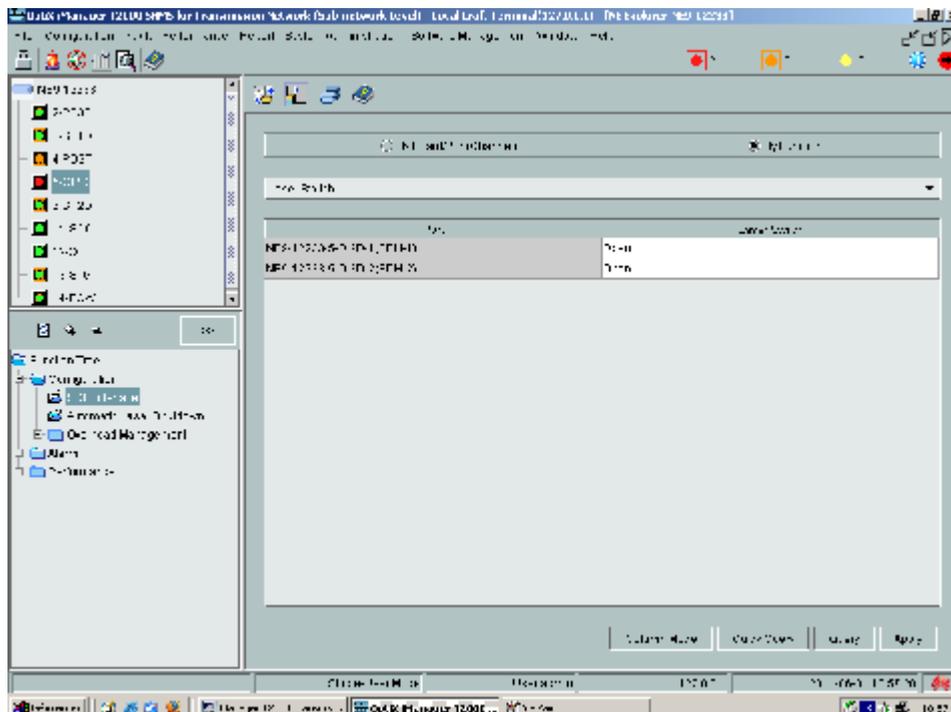


Figure V.23. Création de service SDH

En fonction des allocations des timeslots présenté dans la figure 1-4, on crée le service E1 de NE1 à NE2, du port 1-8 sur le slot IU4 au timeslots 1-8 dans le premier VC4 de l'interface optique de la carte sur le slot IU1.

On clic sur « create » pour pouvoir entrer les paramètres suivants dans la fenêtre « create SDH service »

- Service level : VC12.
- Direction : bidirectionnel.
- Source slot : 4-PD2T.
- Source timeslot : 1-8.
- Sink slot : 1-OI4-1.
- Sink VC4 :VC4-1.
- Sink timeslot : 1-8.
- Activate immediately : yes

On clic sur « apply »

Ensuite, la même chose de NE1 à NE3, de NE2 à NE3 en passant par NE1, de NE1 à NE4, de NE4 vers NE2 en passant par NE1 et en fin de NE4 vers NE3 en passant par NE1. Ainsi on termine de créer les cross-connect sur NE1, on passe à NE2 et ainsi de suite.

V.4.9. configuration de la ligne service

Une ligne de service sera créée entre les différents NEs.

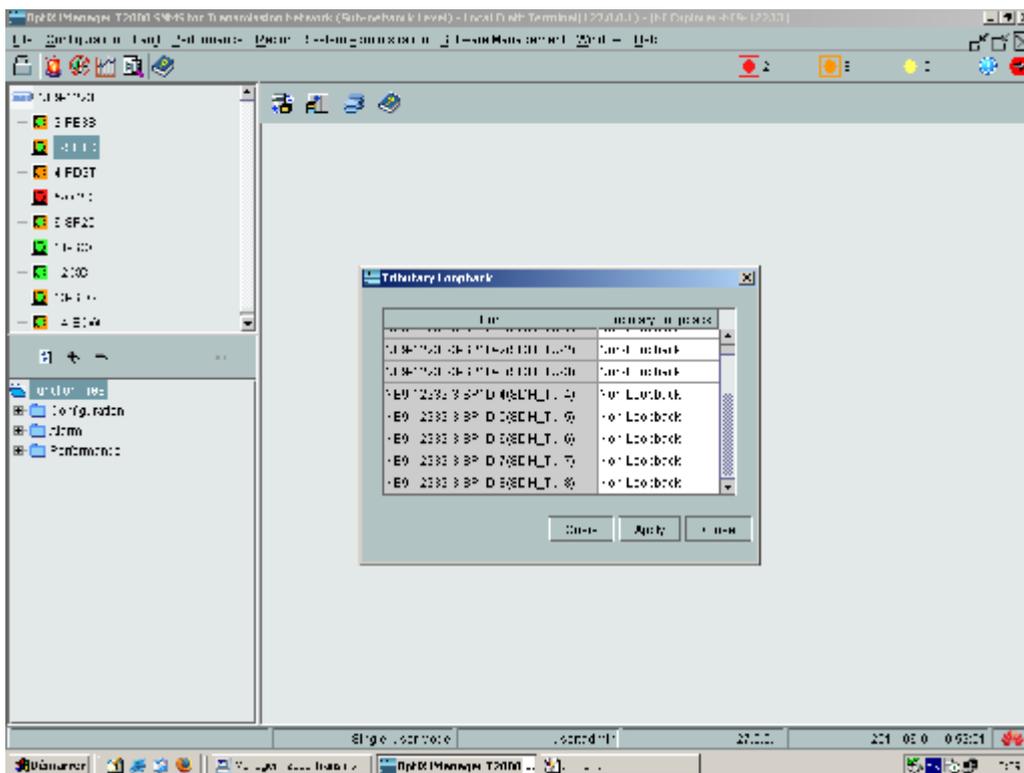


Figure V.24 : configuration de la ligne service.

V.4.10. Alarmes

Cette fenêtre s'affiche après le clique sur le bouton « alarm » ce qui permettra d'afficher les alarmes et leurs raisons.

The screenshot displays the 'Browse Current Alarm' window in OptiX Manager 2000. The main area contains a table of active alarms, and a 'Alarm Details' panel is open at the bottom.

Event	Alarm Name	Instance Object	First Time	Second Time	Alarm Type
Minor	AI CS	NPS-3733-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:50:4		Communication
Minor	AI CS	NPS-3733-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:50:4		Communication
Minor	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:50:4		Communication
Minor	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:50:4		Communication
Minor	AI CS	NPS-3733-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Minor	AI CS	NPS-3733-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Minor	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Minor	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Major	AI CS	NPS-3733-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Major	AI CS	NPS-3733-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Major	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-3-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication
Major	_ALCS	NLS-3229-4-PD27-4-PE1-TU1-PE-1	2011-03-01 21:49:8	2011-03-01 21:49:8	Communication

The 'Alarm Details' panel shows the following information:

- Alarm Name:** AI CS
- Alarm Parameters:** (AI CS) (AI CS) (AI CS) (AI CS)
- Alarm Causes:**
 - (1) The user operation is not completed at the local interface of the user.
 - (2) The user of the board at the upper level, on a similar board.
 - (3) The user operation is not completed at the board.
 - (4) The alarm of the board at the upper level is not cleared.
 - (5) The alarm of the board at the upper level is not cleared.
 - (6) The alarm of the board at the upper level is not cleared.
 - (7) The alarm of the board at the upper level is not cleared.
 - (8) The alarm of the board at the upper level is not cleared.

At the bottom of the window, there are buttons for 'Delete', 'Clear', 'Acknowledge', 'Print', 'Unacknowledge', and 'Close'. The status bar shows 'Affected Total: 20', 'Solved Total: 0 of 20', and the current date and time: '2011-06-01 11:02:21'.

Figure V.25. Renaitre des alarmes.

Conclusion générale

Les progrès réalisés dans le domaine des télécommunications sont tellement importants et rapides, que les structures des systèmes de transmission connaissent un véritable bouleversement. C'est pourquoi il nous a paru nécessaire de commencer ce mémoire par une description des différents supports de transmission constituant les réseaux de télécommunication ainsi que les différentes techniques employées.

Une description des techniques de transmission a été faite afin de compléter les bases à posséder pour aborder ce mémoire et aider à la compréhension de la conception d'un système de transmission.

La fibre optique permet le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.

Le développement des télécommunications à haut débit par fibre optique nécessite la mise au point de dispositifs de plus en plus rapides, à large bande et fonctionnant dans la plage spectrale des amplificateurs à Erbium.

L'objectif principale de ce mémoire est de faire évoluer le réseau SDH d'Algérie Telecom vers la technologie plus sophistiquée DWDM.

Avec de telles évolutions, en si peu de temps, nous pouvons nous demander à quoi ressembleront les réseaux optiques d'ici une vingtaine d'années. Mais il semblerait que la fibre optique soit le support ultime.

Enfin cette étude effectuée au centre d'amplification d'Algérie Telecom de Tizi Ouzou nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des transmissions optiques, et d'acquérir une expérience pratique sur la planification d'un petit réseau SDH, ainsi que la mise en service des équipements de transmission SDH via fibre optique (Huawei), tel que OPTIX 155/622 (metro 1000), OPTIX OSN 3500. Ces derniers permettent de construire des liaisons SDH et WDM.

ANNEXE : fibre optique

1. Caractéristique des différents types de fibre optiques

Matériaux	Pastique	Silice (cœur) Silice (gaine)	Toute silice			
			Type	Saut D'indice	Gradient D'indice	monomode
Diamètre Cœur (m)	930 (Ou plus)	200 (Ou plus)	100	50	62.5	8.3
Diamètre Gaine (m)	1000 Ou plus	380 (Ou plus)	140	125	125	125
Atténuation (dB /Km)	200	5 à 10	1 à 5 850nm	3à850nm 1à1300nm	1.2à1300nm	0.5à1560nm
Longueurs d'ondes d'utilisation	450/700 nm	700/1000 nm	800/1500n m	800/1300 nm	1300 nm	1100/1560
Ouverture numérique	0.5	0.4	0.28	0.20	0.27	0.1
B.P (MHz. Km)	10	20	50	500	300	10000
débit	38.4 Kbit/ s	10Mbit/s	100Mbit/S	300Mbit/s	100Mbit/s	2à5Gbit/s
applications	Eclairage Transmissi on locale	Réseaux locaux	Transmissi on courte Distance Réseau LAN	Télécoms Moyenne distance	Réseaux Locaux et privés	Télécoms longues distances Réseau MAN et WAN

Tableau v.1.caractéristiques des différents types de fibres optiques.

2. Caractéristiques de la fibre optique monomode

Types de fibre monomode	G 625	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	<0.4	<0.5	<0.35
Affaiblissement 1550nm 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 en ps/nm. Km	<19	<3.5	<3.5	<18
Dispersion du mode de polarisation en ps/Km $p^{1/2}$	<0.5	<0.5	<0.5	<0.2
Longueur d'onde de coupure en câble	1150/1280	1050/1350	1450	1260

Tableau V.2.caractéristiques de la fibre optique monomode.

3. Les spécifications technique du OPTIX 155/622H (metro 1000)

Agrégation	STM-1/STM-4
Services accessibles	3×STM-4, 6×STM-1 4×ATM 155M 80×E1 64×T1 6×E3/T3 6×STM-1(E) 12×10M/100M Ethernet 2×N×64K (Two V.35/V.24/X). 21/RS-449/EIA-530 and two framed E1 8×G.SHDSL
Topologie réseau	Point-to-point, chaine, anneau, et réseaux de mailles.
Alimentation d'énergie	220V AC (100~200V) -48V DC (-38,4~-72V) +24V DC (+18~+36V)
Puissance consommation	82 W (entièrement équipés)
poids	8 Kilogrammes (entièrement équipés)
Dimension	436 mm (W), 293mm(D), 86mm(H)
Mécanisme de protection	Protection auto curative de CSAD (raccordement de sous-réseau Protection, MSSP Ring, etc.) Protection d'anneau de l'atmosphère VP Protection d'anneau d'Ethernet

Tableau 3: spécifications technique du OPTIX 155/622H (metro 1000)

Bibliographie

[1] JOINDOT, Irène et Michel, Les Télécommunications par fibres optiques, Collection Technique et Scientifique des Télécommunications, Editions Dunod.

[2] Zeno Toffano, Optoélectrique : Composants photoniques et fibres optiques, Edition Ellipses.

[3]LECOY Pierre, Télécommunication optiques, Paris : Edition Hermès 1992.

[4] « les Technique de l'ingénieur », Techniques de l'ingénieur, Paris1999.

[5] SHAOWEN Song, universitéWilfrid-Laurier Canada, IEEE Canadian Review-Summer/été, 1999.

[6]G.Chretien Revue des Télécommunications d'alcatel-3eme trimestre 2000.

Les composants optiques pour le nouveau millénaire.

[7] VERNEUIL Jean-Louis, « Simulation du système de Télécommunication par fibre optique à 40 Gbits/s », Thèse de doctorat de l'université de LIMOGES 2003.

[8] BOUDRIOUA Nassima « Etude et Optimisation d'une chaine de transmission numérique sur fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD », Thèse de doctorat de l'université Paul Verlaine-Metz 2007.

[9] GEROME Frédéric « Conception et Caractérisation de fibres compensatrices de dispersion chromatique pour application aux liaisons optiques WDM » Thèse de doctorat de l'université Limoge 2005.

[10] LE CREN Elodie, « Etude de composants absorbants à semi-conducteurs à multi-puits quantiques dopés au fer pour la régénération de signaux optiques à très hauts débit d'information », Thèse de doctorat de l'université de Rennes, 2004.

[11] Stéphane DELLIER, « Contributions à la conception des circuits micro-ondes », Thèse de doctorat de l'université de Limoges, 2005.

[12] S.CALVEZ, « Laser à fibre pour les télécommunications multiplexées en longueur d'onde : étude de l'accordabilité en longueur d'onde et la génération de trains d'impulsions

multi-longueur d'onde par voie électro-optique », Thèse de doctorat de l'université de Franche-Comté, 2002.

[13] ZOUINE Younes « contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants optoélectriques sur la transmission optique utilisant la technique CDMA », Thèse de doctorat de l'université de Limoges, 2005.

[14] GOURMALA Ouassila, « Etude et réalisation des réseaux de Bragg pour des applications photoniques », Thèse de Magister, université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2006.

[15] « Etude et application de la transmission SDH via fibre optique », Thèse d'ingénieur promotion 2009), présenté par BOUBRIK Nacer, CHEMEK Said, FERHANI Samia.

Sites internet :

[16] <http://www.huawei.com>