

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etudes
de MASTER ACADEMIQUE**
Domaine : **Sciences et Technologies**
Filière : **Génie électrique**
Spécialité : **Télécommunication et réseaux**

Présenté par

**Kamila ZERRAR
Fatma OUZIA**

Thème:

Réseau de transport optique DWDM

**Dirigé par:
Encadré par:**

Promotion: 2016 / 2017

Remerciements

En premier lieu, nous remercions « Dieu Tout Puissant » de nous avoir donné la santé, la patience, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier nos familles pour leur aide précieuse, notre promoteur M^r MOHIA.Y et notre encadreur M^r TIGHEDINE.A pour leurs conseils et orientations tout le long de notre projet de fin d'étude.

Nous remercions aussi l'ensemble du personnel de l'entreprise Algérie Télécom qui nous ont accueilli toute la durée de notre stage pratique.

Nous exprimons également notre gratitude à tous les enseignants qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier cycle d'étude jusqu'à la fin de notre cycle universitaire.

Nous adressons aussi nos vifs remerciements aux membres de jury qui ont accepté d'évaluer notre projet. Nous leurs présentons nos respects et nos plus sincères salutation.

Sans omettre bien sur de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale..... | 01 |
| Chapitre I : Généralités sur les réseaux optiques..... | 03 |
| I-1) Introduction | 03 |
| I-2) Généralités sur la fibre optique..... | 03 |
| I-2-1) Définition de la fibre optique..... | 03 |
| I-2-2) Structure de la fibre..... | 04 |
| I-2-3) Type de fibre optique..... | 04 |
| I-2-3-1) Monomode | 05 |
| I-2-3-2) Multimode..... | 05 |
| I-2-3-2-1) La fibre multimode à saut d'indice..... | 06 |
| I-2-3-2-2) La fibre multimode à gradient d'indice | 06 |
| I-3) Caractéristiques physique de la fibre optique | 07 |
| I-3-1) Bande passante..... | 08 |
| I-3-2) Ouverture numérique | 09 |
| I-3-3) Loi de la réflexion (1 ^{ère} loi de Descartes..... | 09 |
| I-3-4) L'indice de réfraction (2 ^{ème} loi de Descartes)..... | 10 |
| I-3-5) L'atténuation | 10 |
| I-3-6)Dispersion | 11 |
| I-3-6-1) Dispersion chromatique (ou intramodale)..... | 12 |
| I-3-6-2) Dispersion modale (ou intermodale)..... | 12 |
| I-4) Avantages et Inconvénients..... | 12 |
| I-4-1) Avantages..... | 12 |
| I-4-2) Inconvénients | 13 |
| I-5) Système de transmission d'une information par fibre optique..... | 14 |
| I-5-1 Emission | 14 |
| I-5-2 Réception..... | 14 |
| I-5-3 Codage..... | 14 |
| I-6) Les méthode de modulation, la détection, et l'amplification | 15 |
| I-6-1) Modulation (inscription | 15 |
| I-6-1-a) La modulation directe | 15 |
| I-6-1-a-1) La modulation d'amplitude | 15 |
| I-6-1-a-2) Les composants utilisés | 15 |
| I-6-1-a-3) Les limites | 16 |
| I-6-1-b) La modulation externe | 16 |
| I-6-1-b-1) Les composants | 16 |
| I-6-2) La détection..... | 17 |
| I-6-2-1) La détection directe | 17 |
| I-6-2-2) La réception hétérodyne | 18 |
| I-6-2-3) La réception homodyne | 18 |
| I-6-2-4) Comparaison des détections directe et hétérodyne..... | 18 |
| I-6-3) Le préamplificateur | 19 |
| I-7) Communication optique | 19 |
| I-7-1) Les étapes de l'évolution du réseau de transport..... | 19 |
| I-7-2) La Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH..... | 20 |
| I-7-3) L'arrivée du SDH (SONET)..... | 21 |
| I-7-3-1) Les avantages de la nouvelle hiérarchie | 21 |
| I-7-4) Passage du SDH vers WDM | 22 |
| I-8) Conclusion..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| Chapitre II: Aperçu sur les réseaux optiques..... | 24 |
| II.1) Introduction | 24 |
| II.2)Définition de la SDH..... | 24 |
| II.2.1) La trame SDH..... | 25 |
| II.2.2) Les en-têtes..... | 26 |
| II.2.2.1) Le POH (Path Over Head)..... | 26 |
| II.2.2.1.1) Le HPOH (High Path Over Head)..... | 27 |
| II.2.2.1.2) Le LPOH (Low Path Over Head)..... | 28 |
| II.2.2.2) Le SOH (Section Over Head)..... | 28 |
| II.2.2.2.1) L'en-tête de section régénération (RSOH)..... | 28 |
| II.2.2.2.2) L'en-tête de section multiplexage (MSOH)..... | 29 |
| II.2.2.3) Les pointeurs (PTR) | 30 |
| II.2.3) Le multiplexage SDH..... | 31 |
| II.2.3.1) Principe de multiplexage..... | 32 |
| II.2.3.2) Les éléments de la hiérarchie synchrone..... | 33 |
| II.2.3.2.1)Le Conteneur «C-n » | 33 |
| II.2.3.2.2)Le conteneur virtuel « VC-n »..... | 33 |
| II.2.3.2.3)L'unité tributaire « TUn » | 34 |
| II.2.3.2.4)Le groupe d'unité d'affluent « TUG-n »..... | 35 |
| II.2.3.2.5)Unité administrative «AU-n » | 35 |
| II.2.3.2.6)Le groupe d'Unités Administratives | 35 |
| II.2.3.3) Structure de multiplexage SDH..... | 35 |
| II.2.4) Le réseau SDH | 36 |
| II.2.4.1) Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH..... | 36 |
| II.2.4.2) Les topologies du réseau SDH | 36 |
| II.3) Le multiplexage en longueur d'onde WDM | 37 |
| II.3.1) Principe de WDM..... | 37 |
| II.3.2) Description de WDM | 39 |
| II.2.3) Application de WDM..... | 39 |
| II.3.4) Structure du système WDM | 40 |
| II.3.5) Modes de transmission de WDM..... | 40 |
| II.3.5.1) Transmission unidirectionnelle | 40 |
| II.3.5.2) Transmission bidirectionnelle | 41 |
| Conclusion | 41 |
| Chapitre III: Le multiplexage en longueur d'onde DWDM | 42 |
| I-1) Introduction | 42 |
| I-2) Liaison optique point à point..... | 43 |
| I-2-1) Emetteur optique | 43 |
| III-2-1-1) Source optique | 43 |
| III-2-1-1-1) La diode électroluminescente (DEL)..... | 43 |
| III-2-1-1-2) La diode laser (DL)..... | 44 |
| III-2-2) Modulateurs..... | 44 |
| III-2-3) Multiplexeur /Démultiplexeur optique..... | 45 |
| III-2-4) Amplificateur optique | 45 |
| III-2-4-1) Les amplificateurs à semi-conducteur(AOSC)..... | 46 |
| III-2-4-2) Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA)..... | 47 |
| III-2-4-2) Amplificateur Raman..... | 48 |
| III-2-4-1-1) Utilisation de l'Amplificateur Raman | 48 |
| III-2-4-1-2) Utilisation de l'amplificateur optique | 49 |
| III-2-2) Récepteur optique..... | 49 |
| III-2-2-1) Principe de la photodétection..... | 50 |
| III-2-2-2) Types de photodiodes | 50 |
| III-2-2-2-1) Les photodiodes PIN | 50 |
| III-2-2-2-2) Les photodiodes à avalanche | 51 |

| | |
|---|-----------|
| III-3) La technologie DWDM | 51 |
| III-3-1) Principe..... | 51 |
| III-3-2) L'architecture de base d'un réseau DWDM..... | 52 |
| III-3-3) Les types de multiplexage en longueur d'onde..... | 53 |
| III-3-3-1) Multiplexage à filtre optique..... | 53 |
| III-3-3-1-1) Les filtres dichroïques | 53 |
| III-3-3-1-2) Les filtres Fabry-Perot..... | 54 |
| III-3-3-2) Multiplexage a coupleurs sélectifs..... | 54 |
| III-3-3-3) Multiplexage à Réseau de Diffraction | 54 |
| III-3-4) Les différents composants d'un système DWDM..... | 54 |
| III-3-4-1) Multiplexeur terminal optique OTM) | 54 |
| III-3-4-2) Amplificateur de ligne optique (OLA) | 55 |
| III-3-4-3) Les multiplexeurs à insertion /extraction optique (OADM)..... | 56 |
| III-3-4-3-1) Principe..... | 56 |
| III-3-4-3-2) Les types d'OADM | 57 |
| III-3-4-3-2-1) FOADM (multiplexeur a insertion /extraction optique fixe..... | 57 |
| III-3-4-3-2-2) ROADM | 57 |
| III-3-5) Aperçu sur les réseaux multicouches: dans des réseaux IP/MPLS sur OTN (DWDM) . | 58 |
| III-3-5-1) La technologie MPLS | 59 |
| III-3-5-2) La technologie OTN | 60 |
| III-3-6) Les brasseurs optique | 63 |
| III-3-6-1) Brasseur passifs fixe (brasseur à fibre | 65 |
| III-3-6-2) Brasseurs dynamiques..... | 65 |
| III-3-6-3) Brasseur actif | 65 |
| III-3-7) Commutation / routage DWDM..... | 64 |
| III-4) Etude des réseaux DWDM | 64 |
| III-4-1) Topologie d'un réseau DWDM..... | 64 |
| III-4-1-1) Topologie point à point | 64 |
| III-4-1-2) Topologie linéaire insertion-extraction..... | 64 |
| III-4-1-3) Topologie anneau | 65 |
| III-4-2) Les systèmes de protection dans les réseaux optique DWDM..... | 65 |
| III-4-2-1) Système de protection 1 + 1..... | 66 |
| III-4-2-2) Système de protection 1 : 1 | 66 |
| III-4-2-3) Système de protection M : N | 66 |
| Conclusion..... | 66 |
| Chapitre IV: Création du réseau optique DWDM..... | 67 |
| IV-1) Introduction | 67 |
| IV-2) Aperçu de la société Huawei | 68 |
| IV-2-1) Description de l'équipement Huawei..... | 69 |
| IV-2-2) Types de services | 70 |
| IV-3) Architecture de réseau | 71 |
| IV-3-1) Allocation de longueurs d'ondes..... | 71 |
| IV-3-2) Création d'un réseau DWDM | 72 |
| IV-4-2-1) Description du logiciel U2000..... | 72 |
| IV-4-2-2) Présentation du logiciel U2000..... | 72 |
| IV-4-2-3) Les principales caractéristiques de l'U2000..... | 73 |
| IV-4-2-4) Description de LCT | 73 |

| | |
|--|----|
| IV-4) Les étapes de création du réseau DWDM avec le logiciel U2000 | 74 |
| IV-4-1) Conception des NEs | 75 |
| IV-4-2) Création des NEs..... | 81 |
| VI-4-3) Paramétrage des NEs | 83 |
| IV-4-4) Attribution des cartes | 84 |
| IV-4-5) Création de services | 85 |
| IV-4-6) La protection | 89 |
| IV-5) Conclusion..... | 91 |
| Conclusion générale | 91 |
| Bibliographie..... | 92 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure I. 1: La fibre optique..... | 03 |
| Figure I. 2: Structure de la fibre optique | 04 |
| Figure I. 3: La fibre optique monomode | 05 |
| Figure I. 4: Fibre multimode à saut d'indice à gradient d'indice..... | 06 |
| Figure I. 5: Fibre multimode à gradient d'indice | 06 |
| Figure I. 6: Champ électrique et champ magnétique de la lumière | 07 |
| Figure I. 7: Spectre des longueurs d'onde | 08 |
| Figure I. 8: La loi de Descartes | 09 |
| Figure I. 9: Ouverture numérique | 09 |
| Figure I. 10: Courbe de l'atténuation de la fibre optique | 10 |
| Figure I. 11: La dispersion chromatique | 12 |
| Figure I. 12: La dispersion modale | 12 |
| Figure I. 13: Synoptique de la modulation directe..... | 15 |
| Figure I. 14: Synoptique de la modulation externe..... | 16 |
| Figure I. 15: Schéma du photodétecteur en détection directe..... | 17 |
| Figure I. 16: Schéma du photodétecteur en détection hétérodyne | 18 |
| Figure I. 17: Les couches réseaux..... | 20 |
| Figure I. 18: Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH..... | 21 |
| Figure I. 19: Le réseau optique | 22 |
| Figure II. 1: Situation de SDH dans le modèle OSI | 24 |
| Figure II. 2: Structure de la trame SDH STM-1 | 25 |
| Figure II. 3: Les en-têtes | 26 |
| Figure II. 4: Les octets de POH et SOH | 26 |
| Figure II. 5: HPOH (High Path Over Head | 27 |
| Figure II. 6: LPOH (Low Path Over Head | 28 |
| Figure II. 7: Les réseaux de section régénération (RSOH | 28 |
| Figure II. 8: Les réseaux de section de multiplexage (MSOH | 30 |
| Figure II. 10: Multiplexage de containers VC-4 sur une trame STM-4 | 32 |
| Figure II. 11: Les niveaux de multiplexage SDH | 32 |
| Figure II. 13: Conteneur virtuel | 34 |
| Figure II. 14: Tributary Unit TU..... | 34 |
| Figure II. 15: Structure de multiplexage SDH..... | 35 |
| Figure II. 16: Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH..... | 36 |
| Figure II. 17: Infrastructure du réseau SDH | 37 |

| | |
|--|----|
| Figure II. 18: Les différentes Topologies | 37 |
| Figure II. 19: WDM concept | 38 |
| Figure II. 20: Schéma de principe du multiplexage WDM | 38 |
| Figure II. 22: Peigne des fréquences en WDM..... | 39 |
| Figure II. 23: Structure de système WDM..... | 40 |
| Figure II. 24: Transmission unidirectionnelle | 40 |
| Figure II. 25: Transmission bidirectionnelle | 41 |
| Figure III. 1: Liaison optique point à point | 42 |
| Figure III. 2: Structure d'un émetteur optique..... | 43 |
| Figure III. 3: Schéma fonctionnel d'un émetteur de lumière | 43 |
| Figure III. 4: Spectre d'émission d'une DEL | 44 |
| Figure III. 5: Spectre d'émission d'une DL..... | 44 |
| Figure III. 6: Principe d'une modulation | 45 |
| Figure III. 7: Multiplexeur /Démultiplexeur en longueur d'onde | 45 |
| Figure III. 8: Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur | 46 |
| Figure III. 9: Amplificateur optique à fibre dopée a l'erbium..... | 47 |
| Figure III.10: Amplification Raman..... | 48 |
| Figure III. 11: Différents systèmes de transmission à amplification optique..... | 49 |
| Figure III. 12: Photodiode PIN | 50 |
| Figure III. 13: Structure d'une photodiode à avalanche | 51 |
| Figure III. 14: Combinaison entre les différentes couches services et transports | 52 |
| Figure III. 15: Principales composantes d'un réseau DWDM | 53 |
| Figure III. 16: Le Schéma de l'OTM..... | 55 |
| Figure III. 17: Le schéma de l'OLA | 55 |
| Figure III. 18: Architecture de base d'un système DWDM | 56 |
| Figure III. 19: Représentation schématique d'un OADM | 57 |
| Figure III. 20: OADM fixe | 57 |
| Figure III. 21: OADM Dynamique | 55 |
| Figure III.22: Réseau MPLS..... | 59 |
| Figure III.23: La hiérarchie OTN | 61 |
| Figure III. 25: Le brasseur optique | 63 |
| Figure III. 26: Topologie point à point d'un réseau DWDM | 64 |
| Figure III. 27: Topologie linéaire insertion-extraction d'un réseau DWDM..... | 65 |
| Figure III. 28: Topologie en anneau d'un réseau DWDM | 65 |
| Figure IV. 1: Structure d'équipements Huawei OSN 8800 | 69 |
| Figure IV. 3: Réseau en anneau DWDM | 70 |

| | |
|--|----|
| Figure IV. 5: Interface de l’U2000 | 73 |
| Figure IV. 6: Les connexions entre les cartes (nœud 1) | 74 |
| Figure IV. 07: Principe de fonctionnement de la carte FIU..... | 74 |
| Figure IV. 08: La carte FIU (Vue de face | 74 |
| Figure IV. 09: Principe de fonctionnement de la carte TQX..... | 75 |
| Figure IV. 10: La carte TQX (vue de face | 75 |
| Figure IV. 11: Principe de démultiplexage de la carte D40..... | 75 |
| Figure IV. 12: La carte D40 (vue de face | 76 |
| Figure IV. 13 : Le principe de multiplexage de la carte M40..... | 76 |
| Figure IV. 14: La carte M40 (vue de face..... | 76 |
| Figure IV. 15: Le principe de multiplexage de la carte NQ2..... | 76 |
| Figure IV. 16: La carte NQ2 (vue de face | 77 |
| Figure IV. 17: La carte SC2 (Vue de face | 77 |
| Figure IV. 18: Le principe de fonctionnement de l’OAU..... | 77 |
| Figure IV. 19: La carte OAU1 (Vue de face..... | 77 |
| Figure IV. 20: Le principe de fonctionnement de l’OBU1 | 78 |
| Figure IV. 21: La carte OBU (Vue de face | 78 |
| Figure IV. 22: Les connexions entre les cartes (nœud 2)..... | 78 |
| Figure IV. 23: Les connexions entre les cartes (nœud 3) | 79 |
| Figure IV. 24: Les connexions entre les cartes (nœud 4) | 79 |
| Figure IV. 25: Création des NEs..... | 80 |
| Figure IV. 26: Distinguer le type d’équipement | 81 |
| Figure IV. 27: Paramètres d’un NEs..... | 82 |
| Figure IV. 28: Configuration des cartes..... | 83 |
| Figure IV. 29: Chargement des cartes..... | 84 |
| Figure IV. 30: Création des services GE et STM-64..... | 84 |
| Figure IV. 31: Types de services | 85 |
| Figure IV. 32: Paramètre de service GE | 86 |
| Figure IV. 33: Paramètre de servie STM-64..... | 87 |
| Figure IV. 34: Le principe de la protection SNCP..... | 88 |
| Figure IV.35: Protection SNCP | 88 |
| Figure IV.36: La fenêtre de la carte source et la carte de destination..... | 89 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau II.9: Répertoire des débits de la hiérarchie SDH | 31 |
| Tableau II.12: La correspondance affluent – conteneur | 33 |
| Tableau III.24: Les débits des conteneurs OTN..... | 62 |
| Tableau IV.02: Les différents types de services | 69 |
| Tableau IV.04: Allocation des longueurs d’ondes | 70 |

Les télécommunications sont définies comme la transmission de données à distance dont le but est de transmettre un signal porteur d'une information d'un émetteur à un récepteur. Mais aujourd'hui, l'essor de l'Internet est tel que l'évolution des systèmes de télécommunications tend toujours vers une augmentation des capacités de transmission ainsi les supports de transmission habituels sont éprouvés et dépassés ce qui a engendré l'utilisation de la fibre optique car elle est plus fiable, plus performante et a un coût de revient moindre que les câbles cuivrés.

La télécommunication optique est enfin parvenue à pleine maturité. Elle constitue aujourd'hui une alternative rentable pour les transmissions de longue portée ou de portée moyenne. Elle tire avantage des propriétés de la transmission par fibre optique (bande passante plus importante, immunité accrue en regard des interférences électromagnétiques, avantages en matière de confidentialité et de sécurité, etc...).

Dans les années 2000, TDM (multiplexage par division de temps), FDM (multiplexage par division de fréquence) et WDM (multiplexage par division de longueur d'onde) étaient les trois technologies proposées pour résoudre la crise de la capacité chronique. La demande de bande passante s'accroît de façon fulgurante et les technologies de transmission existantes ne parviennent pas à rester sans laisser inspirer la confiance qu'elles pourraient évoluer pour répondre aux besoins futurs.

Cependant, les réseaux optiques pallient le réseau mondial, disposent-ils des procédures fiables et efficaces leur permettant de bien cerner le problème de capacité de transmission, si possible de la contrôler selon les demandes des utilisateurs?

De plus, les réseaux optiques font partie intégrante de la société numérique moderne, la seule technologie capable de gérer de grandes quantités de données sur de longues distances. En outre, le développement continu de nouveaux services en ligne exige de maintenir une capacité de trafic toujours croissante, ils seront intégrés dans les réseaux de communication.

La solution pour répondre à cette demande est la technologie de transmission par fibre optique WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) et son avancement vers la nouvelle technologie DWDM qui est très efficace et importante pour subvenir aux besoins des opérateurs en terme de rapidité de transmission et de l'augmentation du volume d'informations. En effet elles apportent les solutions durables à cette demande en exploitant les propriétés réfractrices de la lumière de la fibre et en modulant les signaux lumineux en longueurs d'ondes qui seront transmises sur une seule fibre optique.

Le premier chapitre de ce mémoire va faire un aperçu sur les généralités des réseaux optiques en s'appuyant sur la définition de la fibre optique et la description des systèmes de transmission d'une information d'une liaison optique.

Le second chapitre est consacré à la présentation et à la constitution et du réseau SDH ainsi que le réseau optique WDM qui sont des technologies importantes en télécommunications.

Le troisième chapitre détaillera l'ensemble du réseau optique DWDM qui est la technologie de multiplexage en longueurs d'ondes, en passant par la définition de chaque composant les constituants pour former une liaison optique et expliquera leurs fonctionnements et son efficacité.

Le quatrième chapitre sera consacré à la présentation de l'équipement et la création du réseau DWDM.

I-1) Introduction:

Les télécommunications utilisent les réseaux de transport optique qui réalisent la transmission au moyen de liaisons en fibre. Ces réseaux constituent aujourd'hui l'infrastructure de base des systèmes de communications modernes et répondent aux besoins en capacités qui ne cessent de croître en utilisant des techniques courantes et éprouvées dans le monde des réseaux de télécommunications.

Le développement des réseaux optiques constitue l'un des grands défis, créateur de valeur, de croissance, d'emplois, d'innovations industrielles et de services pour la nation toute entière.

L'évolution des diodes laser, l'apparition des amplificateurs optiques et des nouvelles technologies sont permises l'amélioration des liaisons de télécommunications ainsi le réseau optique autorise le très haut débit et une mise en œuvre de qualité parfaite avec une rapidité de transmission.

Dans ce premier chapitre nous avons apporté un descriptif des réseaux de transport optique notamment les étapes de l'évolution des techniques de communication optique.

I-2) Généralités sur la fibre optique:**I-2-1) Définition de la fibre optique:**

La fibre optique est un support physique de transmission de données IP à très haut débit qui varie de 50 Mbit/s à 250 Mbit/s en émission et de 100 Mbit/s à 1 Gbit/s en réception, elle peut l'assurer jusqu'à des Térabits/s, et ceci grâce à la technologie WDM.

La fibre optique peut être assimilée à un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière d'une manière guidée à des vitesses élevées sur de grandes distances sans affaiblissement qui peut être de l'ordre de 0.2 dB/km à comparer aux 15 dB/km du cuivre.

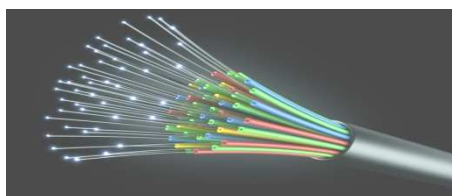


Figure I.01: La fibre optique.

I-2-2) Structure de la fibre:

La fibre optique est constituée d'un cœur cylindrique en matériau transparent entouré d'une gaine concentrique, le tout dans un revêtement de protection. [1]

- **Le cœur** est la couche la plus importante en termes de transmission optique, elle est composée de silice, de quartz fondu ou de plastique pouvant être "dopé" afin de modifier son indice de réfraction. C'est à l'intérieur de ce cœur que va se propager la lumière en suivant la loi de réfraction, ce qui permet de guider les informations d'un bout à l'autre de la fibre sans trop de pertes.
- **La gaine optique** est composée des mêmes matériaux que le cœur. Son indice de réfraction n_2 est inférieur à celui du cœur n_1 (différence de quelques millièmes), ce qui permet de réfléchir la lumière entièrement de multiples fois à l'interface cœur-gaine (phénomène de réflexion totale interne).

La gaine optique n'est pas destinée à transmettre la lumière. Le cœur et la gaine constituent la partie optique qui canalise et propage la lumière.

- **Le revêtement de protection** généralement en plastique, il assure la protection mécanique de la fibre optique avec une flexibilité de la fibre et une facilité de manipulation. Cette couche de protection extérieure n'intervient pas dans la transmission de la lumière.

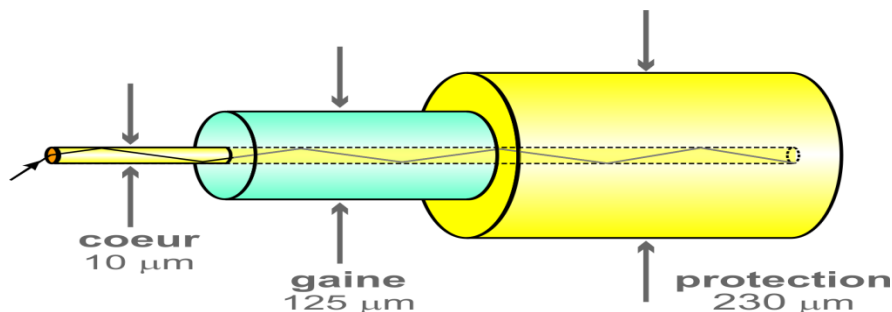


Figure I.02: Structure de la fibre optique.

I-2-3) Type de fibre optique:

Il existe 2 grands types de fibres selon la façon dont circule le flux lumineux dans le cœur de la fibre:[2 ,3 ,4]

- **Monomode:** dans lequel il existe un seul mode de propagation de la lumière en ligne droite.
- **Multimode:** dans lequel il existe différents modes de propagation de la lumière.

- ❖ Le diamètre du cœur varie selon le type de fibre:
 - Fibre monomode : de 5-10 μm à 50 μm .
 - Fibre multimodes : de 50 μm à 200 μm .
 - Celui de la gaine est de 125 μm .
- ❖ Valeurs typiques d'indices de réfraction entre cœur et gaine:
 - Cœur : $n_1 \cong 1,48$
 - Gaine : $n_2 \cong 1,46$

I-2-3-1) La fibre monomode:

La fibre monomode permet la propagation d'un seul mode dont le diamètre du cœur 5 à 10 microns faible par rapport au diamètre de la gaine (125 microns), l'onde se propage alors sans réflexion sur la gaine optique. Le petit diamètre du cœur exige une grande puissance d'émission qui ne peut être délivrée que par des diodes laser. Les fibres monomodes sont essentiellement utilisées sur de grandes distances.

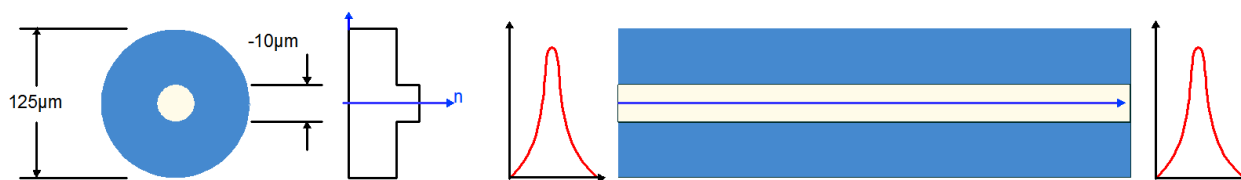


Figure I.03: La fibre optique monomode.

I-2-3-2) La fibre multimode:

La fibre multimode permet la propagation de plusieurs modes (plusieurs trajets ou plusieurs faisceaux) à travers son cœur dont le diamètre varie entre 50 et 200 μm et elles sont utilisées uniquement pour des bas débits et de courtes distances.

A l'entrée de la fibre, chaque mode est excité sous un angle différent et guidée dans le cœur de la fibre selon des trajectoires différentes par conséquent chaque mode arrive à l'extrémité du conducteur à un temps différent.

On distingue deux sous-catégories de fibres multimodes:

- La fibre multimode à saut d'indice.
- La fibre multimode à gradient d'indice.

I-2-3-2-1) La fibre multimode à saut d'indice:

La fibre multimode à saut d'indice est la fibre la plus ordinaire. C'est ce type de fibre qui est utilisé dans les réseaux locaux LAN. Il existe plusieurs modes de propagation provoqués par la dispersion des signaux lumineux la traversant par réflexion totale interne en "dent de scie" en fonction de l'angle d'incidence de la lumière, les différents temps de propagation et les très grandes variations entre les indices de réfraction n_1 (cœur) et n_2 (gaine), ce qui génère une

déformation du signal reçu et une forte atténuation du signal. La fibre à saut d'indice possède un cœur très large, son diamètre est d'environ $200\mu\text{m}$.

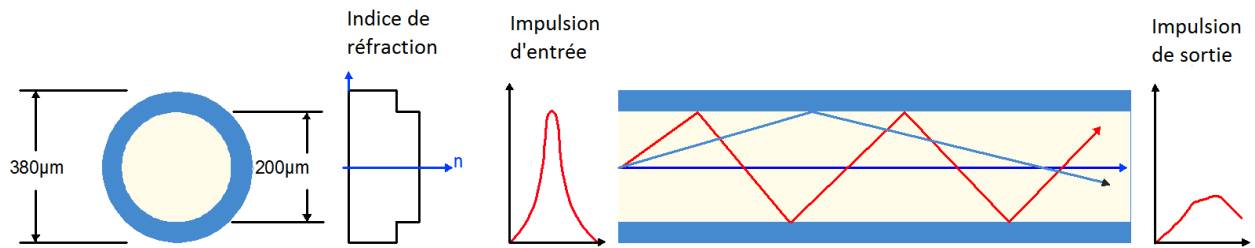


Figure I.04: Fibre multimode à saut d'indice.

I-2-3-2-1) La fibre multimode à gradient d'indice:

La fibre multimode à gradient d'indice est elle aussi utilisée dans les réseaux locaux. A la différence de la fibre à saut d'indice, il n'y a pas de grande différence entre l'indice de réfraction du cœur et de la gaine.

Dans les fibres à gradient d'indice, le cœur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. Ces différentes couches de silice de densités multiples influent sur la direction des rayons lumineux, qui ont une forme elliptique. Ainsi, l'indice décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur / gaine.

Ainsi on s'approche d'une égalisation des temps de propagations, ce qui signifie que l'on a réduit la dispersion modale. Tous les rayons sont « refocalisables » au centre de la fibre.

L'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faibles que dans la fibre à saut d'indice. La taille du cœur varie entre 50 et 100 microns.

La distance réelle parcourue par le signal est pratiquement égale à la longueur de la fibre.

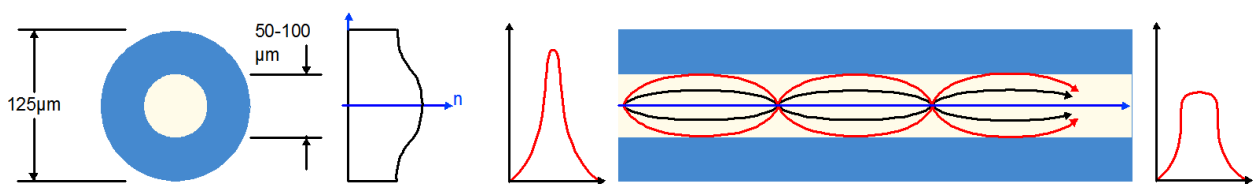


Figure I.05: Fibre multimode à gradient d'indice.

I-3) Caractéristiques physique de la fibre optique:

La lumière est constituée d'ondes électromagnétiques ou flux de particules appelées « photons ».

De manière générale, une onde est caractérisée par sa longueur d'onde et sa phase. La longueur d'onde correspond à la couleur de la lumière.

Ainsi, si une lumière constituée d'ondes de même longueur d'ondes et de fréquence unique elle est dite «**Monochromatique**». Si en plus toutes les ondes ont la même phase, alors la lumière est «**Cohérente**»; c'est ce qui se passe dans un laser.

La longueur d'onde d'une onde électromagnétique périodique est la distance que parcourt la lumière dans le vide pendant le temps qui sépare deux crêtes successives de cette onde électromagnétique. On la dénote communément par la lettre grecque λ tel que :

$$\lambda = v / f$$

λ : Longueur d'onde

v : Vitesse de la lumière $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

f : fréquence de l'onde

- La phase indique la situation instantanée dans le cycle, d'une grandeur qui varie cycliquement.
- La vitesse de la lumière dans le vide est une constante de la physique. C'est la vitesse maximale permise pour tout déplacement d'informations ou d'un objet matériel par la théorie de la relativité.

Comme toute onde électromagnétique qui se propage, la lumière est constituée d'un champ électrique (E) et d'un champ magnétique (B) tout deux perpendiculaires à la direction de propagation.

La polarisation d'une onde lumineuse indique les directions qu'elle encourt dans l'évolution temporelle ou le long d'un rayon lumineux donnée, le vecteur champ électrique et le vecteur champ magnétique dans le plan orthogonal au vecteur d'onde.[2]

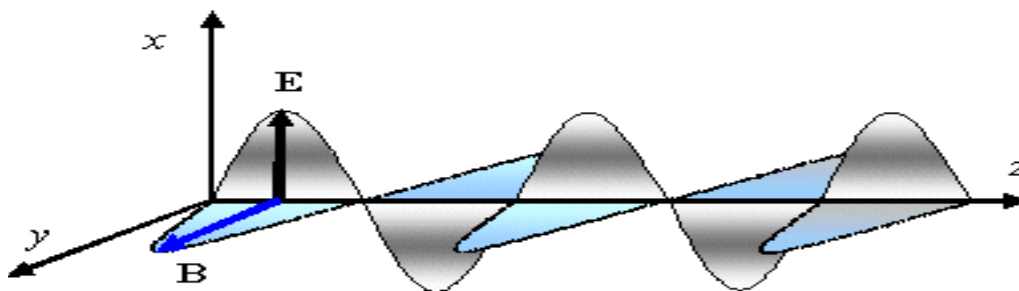


Figure I.06: Champ électrique et champ magnétique de la lumière.

I-3-1) Bande passante:

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique. Elle est déterminée par la quantité de lumière qu'elle peut transporter en raison d'un certain nombre de facteurs physiques.

La transmission de la lumière dans une fibre n'est optimale que dans certaines bandes du spectre optique. Ces fenêtres ont toutes une largeur d'environ 200 nm et sont centrées autour des longueurs d'onde 850, 1310, 1550 et 1625 (nm).[2]

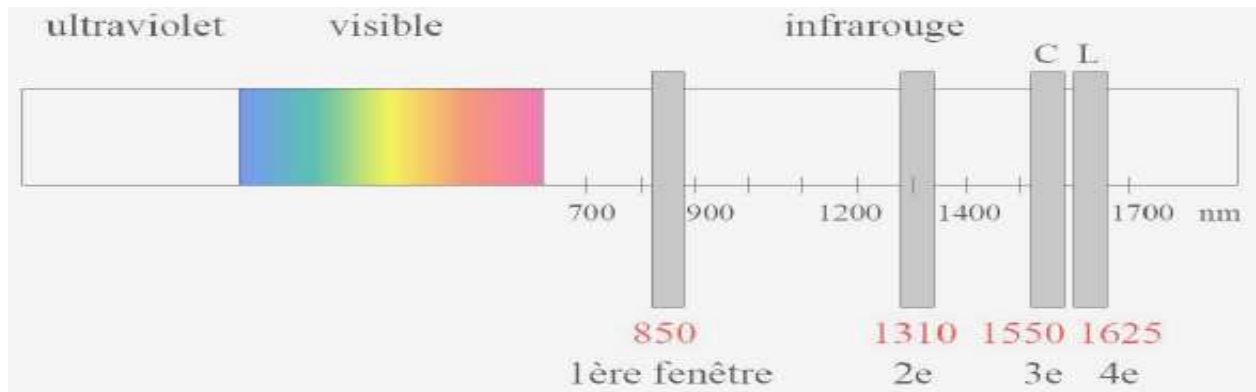


Figure I.07: Spectre des longueurs d'ondes.

La bande Conventiennelle (C-Band) est entre 1525nm et 1565nm et la bande Longue (appelée L-Band) entre 1570nm et 1650 nm. Ces fenêtres ont une bande passante comprise entre 25 et 50 hertz.

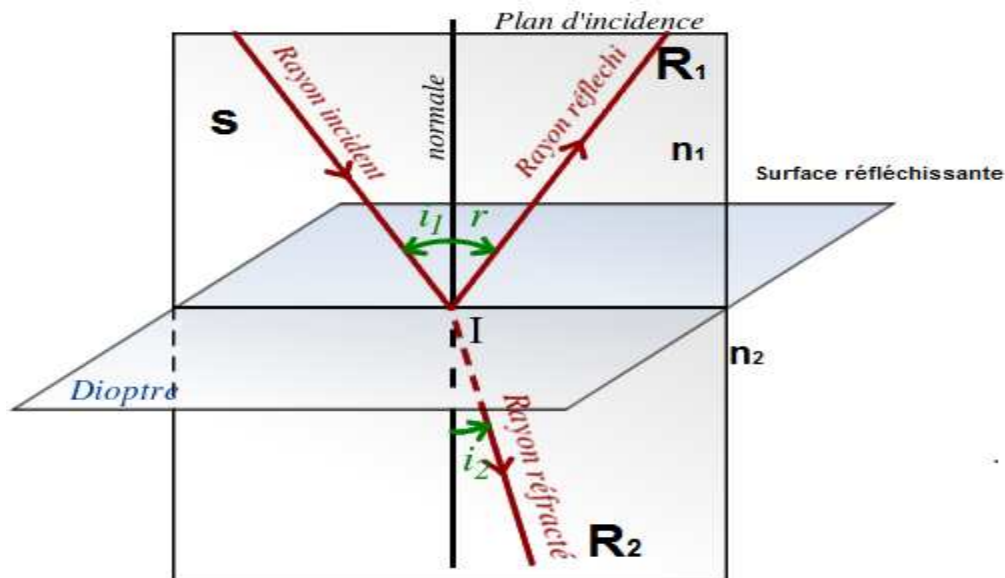


Figure I.08: La loi de Descartes.

La lumière est une onde progressive qui se propage dans les milieux transparents. Lorsqu'un faisceau lumineux S arrive sur une surface de séparation de deux milieux transparents d'indice de réfraction n_1 et n_2 , il y a simultanément un faisceau réfléchi R1 et un faisceau réfracté R2.

Lorsque l'angle d'incidence augmente, l'énergie réfractée diminue et l'énergie réfléchie augmente.

Dans ce cas précis, le signal lumineux touche la gaine avec un angle plus petit que l'angle critique, la réflexion est alors totale dans le cœur. Cette propriété est utilisée pour réaliser des guides de lumière dans la fibre optique.[2]

I-3-2) Ouverture numérique:

Ce paramètre est le sinus de l'angle d'entrée maximale 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.

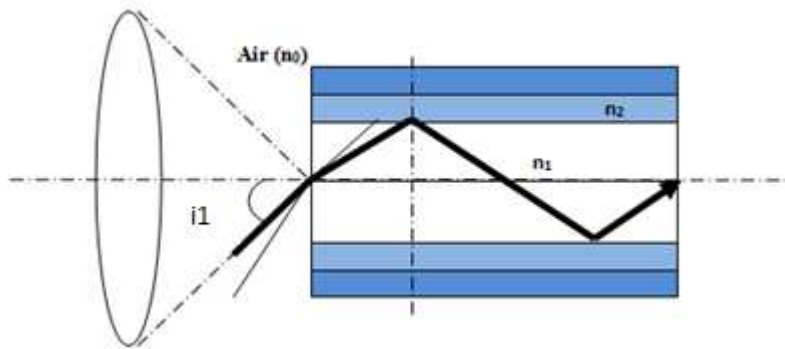


Figure I.09:Ouverture numérique.

La loi de Descartes:

$$ON = \sin i_1 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Afin de faciliter l'injection de la lumière dans la fibre à l'entrée on a intérêt à avoir l'angle limite i_1 le plus grand possible. Ceci s'obtient pratiquement en choisissant des indices n_1 et n_2 très proches.

I-3-3)Loi de la réflexion (1^{ère} loi de Descartes):

La réflexion est un brusque changement de direction d'une onde à l'interface de deux milieux différents (d'indices différents).

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».La relation s'exprime comme suite:

$$i_1 = r$$

I-3-4) L'indice de réfraction (2^{ème} loi de Descartes):

La réfraction est la déviation subite par les rayons lumineux à la traversée de l'interface séparant deux milieux transparents, elle rencontre une résistance lorsqu'elle se propage dans un milieu, car tout milieu a une densité optique plus grande que celle du vide.

Par conséquent, elle mesure la densité optique allant d'une propriété fondamentale; chaque matériau transparent a son indice de réfraction tel que le milieu 1 (air) son indice de réfraction n_1 (cœur) vers un milieu 2 d'indice de réfraction n_2 gaine à travers le dioptre (interface cœur-gaine), cette valeur permet d'évaluer la propagation de la lumière (vide) dans le matériau considéré (n_1, n_2) [2]. L'indice de réfraction correspond à une mesure de la vitesse de la lumière

dans un milieu donné comparativement à sa vitesse dans le vide. Cette relation s'exprime comme suit:

$$n = c/v$$

- **n** est l'indice de réfraction.
- **c** est la vitesse de la lumière dans le vide (300 000 km/s).
- **v** est la vitesse de la lumière dans le milieu considéré.

L'indice de réfraction d'un milieu ne peut pas être plus petit que « 1 », puisque la vitesse de la lumière dans un milieu peut être inférieure à sa vitesse dans le vide. Plus l'indice de réfraction est grand, plus la vitesse dans le matériau étudié est faible. La relation qui prend en fonction l'angle de faisceau réfracté i_2 et l'angle d'incidence i_1 est:

$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2$$

Ce sont ces deux principes qui permettent de faire circuler la lumière au sein du cœur de la fibre optique.[2]

I-3-5) L'atténuation:

La mesure de l'atténuation spectrale consiste à mesurer l'affaiblissement de la fibre sur une plage de longueurs d'ondes.

L'atténuation dans les fibres optiques est due au verre et résulte de plusieurs mécanismes.

- **Pertes intrinsèques:** Ce type d'atténuation dépend des caractéristiques typiques du processus technologique de réalisation.
 - **Pertes par absorption moléculaire :** elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
 - **Pertes par diffusion (diffusion Rayleigh):** elles sont provoquées par les irrégularités involontaires de structure.
- **Pertes extrinsèques:** dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composant.
 - Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres .Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.
 - Les microcourbures: sont des courbures très faible, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles.
 - Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux .Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.[4]

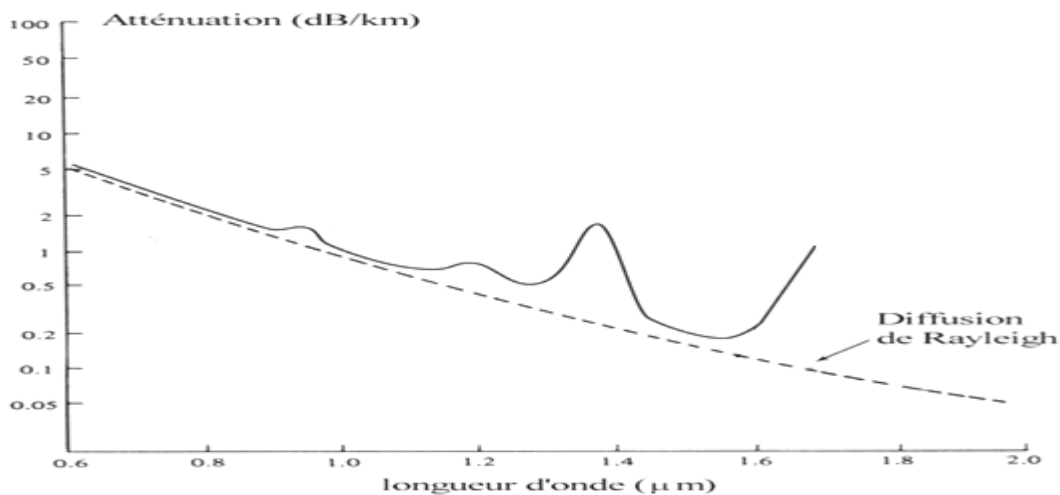


Figure I.10: Courbe de l'atténuation de la fibre optique en fonction de la longueur d'onde.

L'atténuation minimale de 0.22 dB/Km n'est pas très loin du minimum théorique pour la silice. La différence s'explique par le fait que l'on ne peut pas utiliser de la silice pure. On doit doper soit le cœur soit la gaine et cela augmente les fluctuations de composition et donc les pertes par absorption.[5]

I-3-6) Dispersion:

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique.

Il existe deux types de dispersion:[6]

I-3-6-1) Dispersion chromatique (ou intramodale):

La dispersion chromatique est la combinaison de deux types de dispersion : la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde.

La dispersion du matériau est causée par la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde. En effet la dispersion du matériau est très petite par rapport à la longueur d'onde d'environ 1300nm, cette dispersion existe dans toutes les fibres optiques qu'elles soient monomodes ou multimodes.

La dispersion du guide d'onde est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le verre du cœur et la gaine dépend de la longueur d'onde.

La dispersion totale est la somme des dispersions due au matériau et la dispersion du guide d'onde.

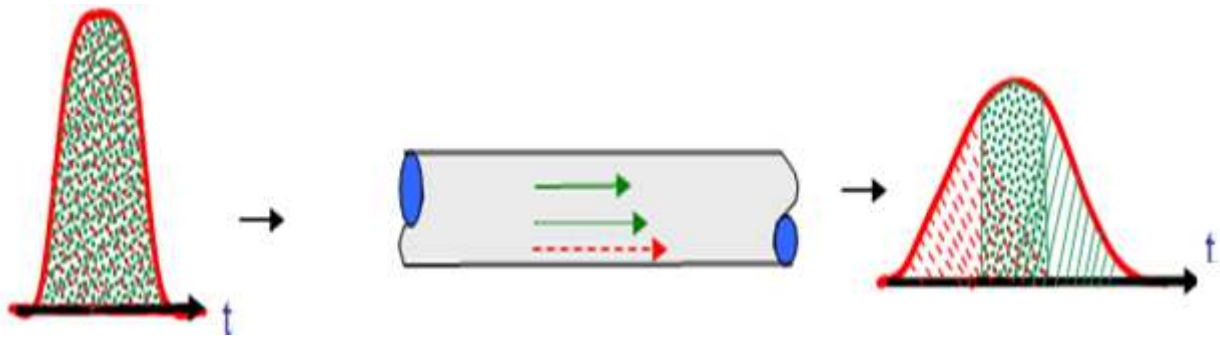


Figure I.11:La dispersion chromatique.

I-3-6-2) Dispersion modale (ou intermodale):

Dans une fibre optique multimode, chaque mode se propage suivant une trajectoire différente. L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartit entre les différents modes qui se propagent dans le cœur.

L'ensemble des retards entre les différents rayons composant le signal lumineux déterminent en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique –électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale

Cette dispersion due à la biréfringence de la fibre, provoque une déformation des impulsions lumineuses par le fait que les deux principaux états de polarisation ont des constantes de propagation légèrement différentes.[6]

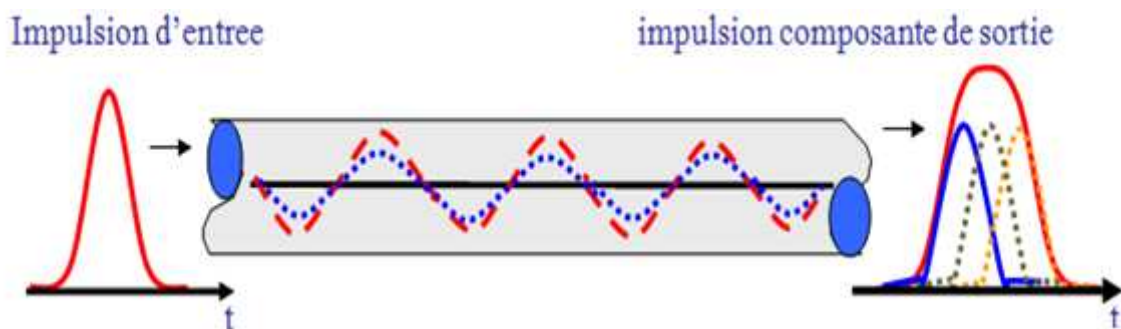


Figure I. 12:La dispersion modale.

I-4) Avantages et Inconvénients:

I-4-1) Avantages:

- ❖ Performance de transmission: très faible atténuation qui permet d'envisager une grande distance entre les points de régénération des signaux transmis, vitesse de transmission quasi instantanée, très grande bande passante de l'ordre de 1Ghz pour 1 km, ceci permet notamment le multiplexage de plusieurs signaux, elles permettent au système d'avoir une portée et une capacité très supérieure à celle des câbles conducteurs.
- ❖ Avantage de mise en œuvre: très petite taille, grande souplesse, faible poids, appréciable aussi bien en télécommunication que pour le câblage en informatique, aéronautique, application industrielle.

- ❖ Sécurité électrique : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosif ou sous forte tension.
- ❖ Sécurité électromagnétique: la fibre optique n'est pas sensible aux parasites et aux bruits électromagnétiques et n'en crée pas elle-même, présente une bonne résistance à la chaleur et au froid. Elle présente aussi une absence totale de rayonnement. Ceci rend son emploi particulièrement intéressant pour les applications militaires. Une tentative d'intrusion sur la fibre optique peut être aisément détectée par l'affaiblissement de l'énergie lumineuse en réception qu'elle provoque.
- ❖ Avantage économique: le coût global d'un système sur fibre optique est plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.[4]

I-4-2) Inconvénients:

- ❖ Les divers rayons qui vont pénétrer dans la fibre vont suivre des chemins différents et ne vont pas tous arriver à l'autre bout en même temps. De plus, on pourra assister à des phénomènes d'interférences.
- ❖ La fibre optique 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.
- ❖ Pertes de raccordement entre différents composants optiques du système soit entre deux fibres ou entre une fibre et un module d'émission ou de réception. Parmi les pertes de raccordement, on trouve:
 - Les pertes de couplage à la source: une partie seulement de la puissance émise par le laser sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.
 - Les pertes d'épissure: elle est due à cause d'une discontinuité du rayon, une erreur d'espacement, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire.[4]

I-5) Système de transmission d'une information par fibre optique :

Les systèmes de communication optique comportent un certain nombre de composants de base: un système de codage de l'information, une source lumineuse qui envoie les signaux lumineux dans la fibre optique, un récepteur de lumière et enfin un décodeur.[4]

I-5-1) Emission:

Pour la propagation d'un signal lumineux à l'intérieur d'une fibre optique, 3 types de sources sont utilisés:

- Les LED diode électroluminescente (light Emitting Diode) qui fonctionnent dans le rouge visible à la limite de l'infrarouge 850 nm.

- Les diodes à infrarouge est dans l'invisible a une longueur d'onde de 1300 nm.
- Laser (diode laser LD) utilisé seulement pour la fibre monomode dans la longueur d'onde est 1300 ou 1550 nm. L'intensité du signal lumineux sera modulé en fonction de l'information en plus d'un de ces types de composants on rajoute une lentille chargée de diriger le signal lumineux dans la fibre et ces dispositifs sont d'une taille minimale.

I-5-2) Réception:

Les capteurs ou récepteur utilisé sont:

-
- Soit un phototransistor où le signal lumineux est directement amplifié par le gain en courant.

Les capteurs convertissent une variation d'intensité lumineuse en une variation de courant électrique. Ils ne sont pas plus gros que les émetteurs.

Les composants électroniques utilisés pour l'émission et la réception du signal sont appelés semi-conducteurs.

I-5-3 Codage:

Avec les techniques de transmission numérique, on ne cherche plus à transmettre un signal identique à celui que l'on veut reproduire quelle que soit la nature de l'information traitée (images, son, texte...), elle le sera toujours sous la forme d'une suite de 0 et de 1.

En effet, c'est le cas dans les fibres optiques: l'information (audio, vidéo ou informatique) est codée numériquement sous forme d'une succession de 0 et de 1, chaque caractère étant appelé un «bit».

Le temps est divisé en intervalles de durées égales, dans chaque intervalle on fait correspondre à 1 une impulsion lumineuse d'une certaine intensité et le 0 est représenté par une absence d'impulsion.

Toute information numérique est donc un ensemble de bits de 0 et de 1, c'est le cas des fichiers et applications des ordinateurs une fois numérisé l'information sera donc transmise à une vitesse très élevée à l'intérieur de la fibre optique, sous forme de ses nombreuses impulsions lumineuses successives.

En sortie les impulsions s'ajoutant les unes aux autres seront reconverties en une suite de 0 et de 1, qui une fois décodée formera une information identique à celle de départ.[4]

I-6) Les méthode de modulation, la détection et l'amplification:

I-6-1) Modulation (inscription):

Afin de transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre, c'est ce que l'on appelle une modulation. Pour cela, il est nécessaire de réaliser une conversion des données électriques en données optiques.

Il existe principalement 2 techniques:

I-6-1-a) La modulation directe:

❖ La modulation d'amplitude:

Un des principaux avantages de l'utilisation des lasers à semi-conducteur pour les systèmes de télécommunications par fibres optiques réside dans le fait qu'il est possible de les moduler facilement : la modulation du courant qui les traverse entraîne directement la modulation en intensité de la lumière émise.

Cette technique est appelée modulation directe où il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser.[7]

❖ Les composants utilisés:

Cette solution de modulation directe requiert assez peu de composants. En dehors de la source optique, le laser, un générateur de courant et un driver sont nécessaires.

Le premier va émettre à un débit donné une séquence de données, expression de l'information à transmettre. Le rôle du driver est de commander la source optique au niveau des puissances émises (en fixant les valeurs du courant d'alimentation).

Pour cela, il modifie et transforme les niveaux du courant issu du générateur.[7]

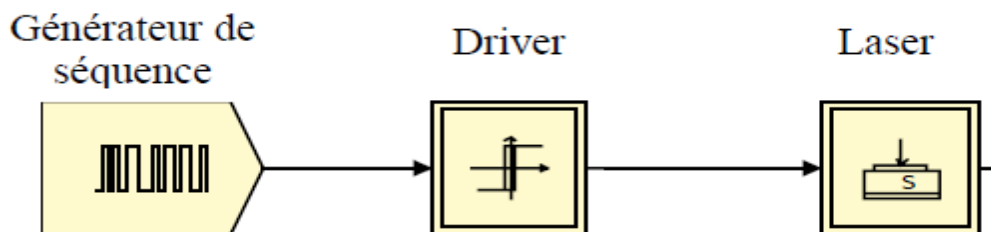


Figure I.13:Synoptique de la modulation directe.

❖ Les limites:

La modulation directe connaît beaucoup d'avantages, en particulier le faible coût de mise en œuvre. Mais elle comporte aussi des limites. Les lasers en sont souvent la cause.

Leur temps de réaction, les oscillations, le bruit créé font que la modulation directe engendre pour les hauts et très hauts débits certaines dégradations sur le signal optique modulé. A cela, la modulation externe constitue un remède.

I-6-1-b) La modulation externe:

La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser. Ainsi les défauts de la modulation directe qui incombent au laser ne seront plus présents sur le signal optique.

❖ Les composants:

La modulation est effectuée sur une onde pure et constante et par un composant indispensable; le modulateur externe. Celui-ci est commandé par une tension externe $v(t)$, modulée et représentative de l'information à transmettre.

Cette tension appliquée au modulateur a pour propriété de modifier le facteur de transmission en intensité en sortie.

Le signal optique continu émis par le laser alimenté par un courant constant est donc peu dégradé. En traversant le modulateur, il subit les modifications du facteur de transmission et le signal de sortie se trouve modulé selon $v(t)$.

Un driver est souvent présent entre les données et le modulateur afin de fixer les niveaux de $v(t)$ et choisir les modifications du facteur de transmission.[7]

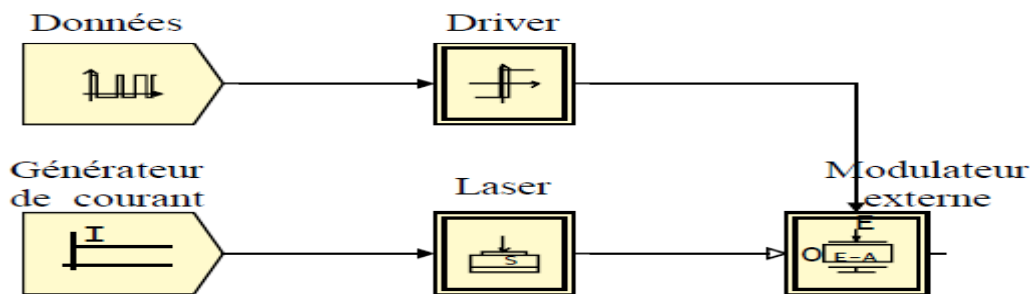


Figure I.14:Synoptique de la modulation externe.

I-6-2) La détection:

Le photodétecteur est un dispositif qui transforme la lumière qu'il absorbe en une grandeur mesurable généralement un courant électrique ou une tension électrique pour cela plusieurs méthodes sont utilisées tel que la détection directe ainsi que la détection hétérodyne et homodyne.[7]

I-6-2-1) La détection directe:

Cette méthode consiste en la conversion des fluctuations de puissance optique porteuses de l'information en fluctuations de courant électrique grâce à une photodiode.

Pour extraire le signal qui module en amplitude une onde, on peut le redresser, ou plus généralement le faire passer dans un dispositif non linéaire, tel qu'une diode. Un signal basse fréquence, le signal modulant et des harmoniques sont alors émis.

Les harmoniques peuvent être éliminées par filtrage, dans la mesure où la fréquence de l'onde porteuse est très grande devant la fréquence maximale du spectre du signal modulant. Nous présentons, sur la Figure I- 18, la composition du bloc appelé photodétecteur.

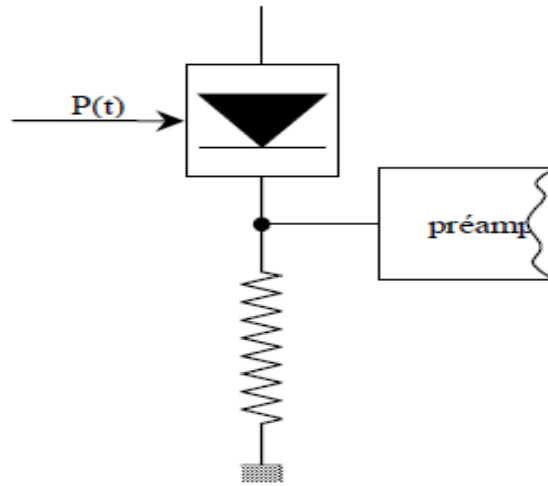


Figure I.15:Schéma du photodétecteur en détection directe.

Le détecteur n'est pas "idéal", c'est-à-dire de bande passante infinie. En réalité, la résistance de charge et la capacité de jonction de la photodiode forment un filtre passe-bas.

Le détecteur peut être réalisé soit par une diode PIN, soit une photodiode à avalanche(PDA). Le principe de fonctionnement reste inchangé. L'effet du phénomène d'avalanche induit, en fait, d'une part, l'augmentation du niveau du signal et d'autre part, une augmentation de la puissance du bruit de grenaille.[7]

D'autres méthodes sont utilisées tel que la détections hétérodyne et homodyne, dans lesquelles la porteuse optique est modulée en amplitude, en phase ou en fréquence et démodulée dans le détecteur.

I-6-2-2) La détection hétérodyne:

A partir des années 1930, on a vu se développer la réception hétérodyne où le signal reçu et un signal issu d'un oscillateur local sont couplés pour réaliser une combinaison linéaire des signaux présents sur ses deux entrées. Une des deux sorties attaque le photomélangeur. Le signal détecté est filtré dans un filtre centré autour de la fréquence intermédiaire [7].La figure suivante donne le schéma de principe du mélangeur hétérodyne, qui constitue le bloc.

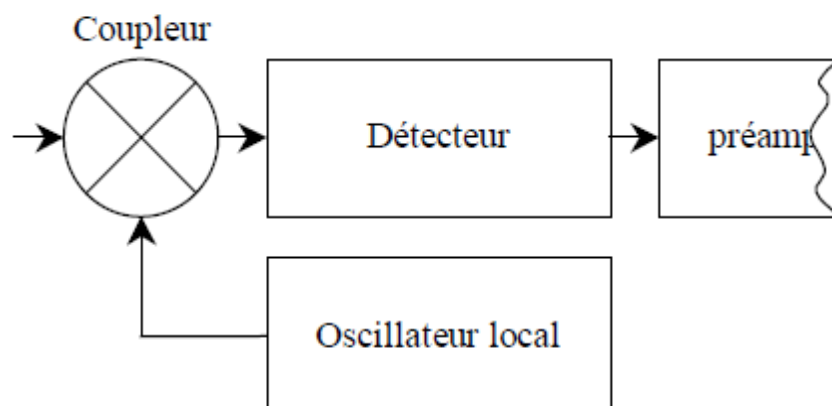


Figure I.16:Schéma du photodétecteur en détection hétérodyne.

La plus grosse contrainte porte sur la stabilité des sources. En effet, l'oscillateur local ne délivre pas un signal sinusoïdal pur car il est affecté par des bruits d'amplitude et de phase qui se traduisent par une modulation parasite du signal en fréquence intermédiaire. [7]

I-6-2-3) La détection homodyne:

Dans l'analyse développée jusqu'ici, la fréquence intermédiaire a été supposée non nulle. Cependant, on peut aussi imaginer utiliser un oscillateur local qui soit à la même fréquence que le signal reçu et synchronisé en phase avec la porteuse de celui-ci. C'est ce que l'on appelle réception homodyne, un cas particulier de la réception hétérodyne.

La réception homodyne apporte un gain de 3 dB par rapport à la réception hétérodyne. Par contre, elle impose des contraintes très fortes sur la pureté spectrale des oscillateurs, qui la rendent beaucoup plus difficile à mettre en œuvre.

De plus, il est plus facile de réaliser dessous-ensembles (filtre, amplificateur) autour d'une fréquence intermédiaire. [7]

❖ Comparaison des détections directe et hétérodyne:

La réception hétérodyne possède de nombreux avantages sur la détection directe:

- Propose un gain supérieur en sensibilité du récepteur.
- Offre la possibilité d'utiliser la modulation de phase ou de fréquence, ce qui ne permet pas la détection directe.
- Permet de juxtaposer dans la bande de fréquences des porteuses modulées pour constituer un système à plusieurs canaux.
- Extraire du multiplex à large bande transmise par la fibre optique, le canal voulu par sélection de la fréquence correspondante sur l'oscillateur local.
- Les amplificateurs à fibre dopée ont radicalement changé la situation, en permettant d'obtenir en détection directe une sensibilité équivalente à celle de la réception hétérodyne. Le filtrage optique devient également de plus en plus performant et l'avantage de la réception hétérodyne en termes de densité de canaux n'est pas prouvé.

De plus, la structure du récepteur hétérodyne est plus complexe qu'en détection directe. En optique, on ne dispose pas de récepteurs cohérents intégrés, incluant l'oscillateur local, le mélangeur et le circuit en fréquence intermédiaire, et cet aspect technique constitue un facteur supplémentaire en défaveur de la technique cohérente.

Aujourd'hui, l'association du préamplificateur optique avec la détection directe à diode PIN trouve son application dans les réseaux structurants et métropolitains.

Un récepteur à diode PIN avec un préamplificateur optique est en particulier dans le cas des hauts débits, bien plus performant qu'un récepteur avec diode à avalanche qui a un produit gain-bande limité.

I-6-3) Le préamplificateur:

Afin de remédier à la modeste sensibilité de la photodiode PIN, le photorécepteur est souvent accompagné d'un préamplificateur ainsi pour minimiser le bruit et les distorsions sur les signaux, ces deux blocs sont souvent réunis dans un même boîtier. [7]

I-7) Communication optique:

Dans le domaine des télécommunications, les communications optiques constituent une technologie optique de communications qui fait appel à la propagation de la lumière (spectre visible ou infrarouge) afin de transmettre des données entre deux points distants.

Cette technologie présente un intérêt lorsqu'on établit une connexion physique par le biais de fibre optique en utilisant des instruments d'optiques. [8]

I-7-1) Les étapes de l'évolution du réseau de transport:

Un réseau peut être modélisé de la manière suivante:

- Une couche service qui fournit des fonctions nécessaires aux communications de l'utilisateur final.
- Une couche infrastructure: ATM (Asynchronous Transfer Mode), IP (Internet Protocol),...
- Une couche transport qui fournit la connectivité entre les équipements (ATM, IP...) sur un média physique: fibre optique, radio, hertzien, cuivre.[7]

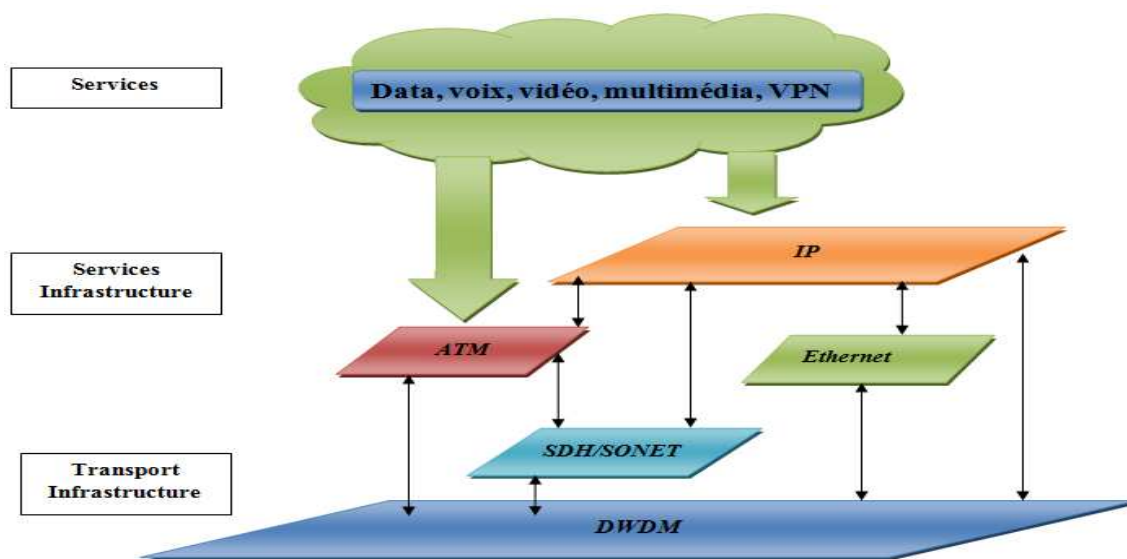


Figure I. 17: Les couches réseaux.

On distingue trois grandes classes de scénarios:

- Scénario reposant sur PDH, SDH.
- Scénario reposant sur SDH/WDM.
- Scénario reposant sur WDM.

I-7-2) La Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH:

La hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (en anglais Plesiochronous Digital Hierarchy) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies

téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec *plesio* (proche) et *chronos* (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments identiques mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local.

Avant les années 90, le réseau de transmission des opérateurs était basé sur une hiérarchie plésiochrone, mais l'un des inconvénients de ce mode de transmission est le multiplexage bit à bit et l'absence de la normalisation au niveau du C.C.I.T.T ne permet pas d'interconnecter deux hiérarchies sans passer par un équipement intermédiaire.

On retrouve ce type de multiplexage temporel sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent 24 voies à 64 Kbits/s en une voie à 1,544 Mbits/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbits/s. Les canaux T1 ou E1 peuvent être multiplexés entre eux pour former des canaux à plus hauts débits.

Cette technique présente toutefois un inconvénient dans le cas de la PDH. L'accès ou l'insertion d'une information dans un canal E4 oblige à démultiplexer l'ensemble du train numérique.

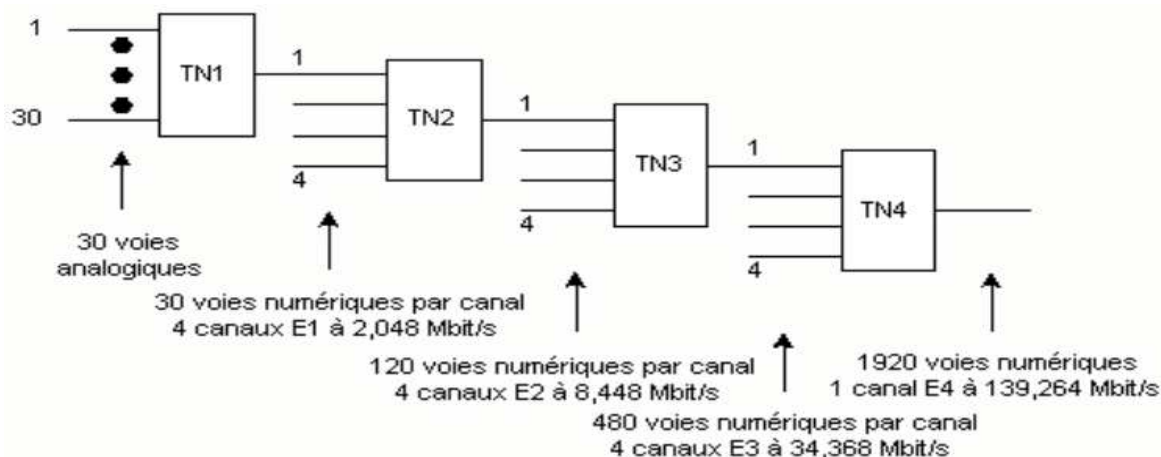


Figure I.18: Multiplexage temporel dans la hiérarchie PDH.

I-7-3) L'arrivée du SDH (SONET):

A la fin des années 80 une nouvelle hiérarchie de transmission appelée SDH (Synchronous Digital Hiérarchy) est apparue, elle est fondée sur les concepts de SONET (Synchronous Optical Network) proposés par l'organisme de normalisation américain BELLCORE.

Cette Hiérarchie est basée sur des principes comparables au principe de la SDH. Elle repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte une facilité de brassage et d'insertion/extraction des niveaux inférieurs, cela à surmonté les inconvénients du PDH.

Les technologies SONET et SDH utilisées comme techniques de transport dans les réseaux téléphoniques des grands opérateurs pratiquent un multiplexage temporel pour assembler plusieurs lignes en une seule ligne de débit supérieur.

En 1988 le C.C.I.T.T élabore une série de recommandations qui sont écrites en s'inspirant du réseau optique américain (SONET) et des normes européennes.

Le débit de la trame de base STM1 (Synchronous Transport Module) est de 155,520 Mb/s, il est compatible avec le premier ordre de multiplexage des hiérarchies américaines (1544 Kb/s) et le premier ordre européen (2048 Kb/s).

❖ **Les avantages de la nouvelle hiérarchie:**

Le SDH offre des avantages significatifs sur le PDH. Le SDH repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte en plus du haut débit (plus élevé qu'en PDH):

- Une facilité d'exploitation-maintenance (des débits importants sont réservés à ces fonctions).
- Une possibilité d'évolution Vers des hauts débits (les trames synchrones hauts débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base. Cette entité de base définit implicitement toutes les trames hauts débits).
- Une souplesse accrue quant à la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex.
- Une interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes.
- Des architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipements.
- La modularité des équipements SDH est plus adaptée au progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

I-7-4) Passage du SDH vers WDM:

Le débit transporté dans les réseaux de télécommunications ne cesse d'augmenter, le transport de la voix et des données en sont les causes principales de plus avec l'expansion de l'Internet à l'échelle mondiale.

L'introduction du multiplexage en longueurs d'onde était dans le but d'augmenter les capacités de transmission et d'acheminement ainsi que la flexibilité et la rentabilité des systèmes qui conduisent de plus en plus à une optimisation des systèmes existants et à une meilleure intégration de systèmes de nouvelles générations et c'est là que le WDM est introduit et remplace le SDH petit à petit.

Les réseaux optiques ont commencé avec WDM (Wavelength Division Multiplexing) puis ont évolué vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ces technologies fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes.

Les réseaux optiques sont basés sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes qui sont transmises, assemblées mises sur le réseau. Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins d'IP & ATM et les transporter sur le réseau SDH ou PDH ainsi chacun de ces protocoles peut-être associé a une longueur d'onde. [7]

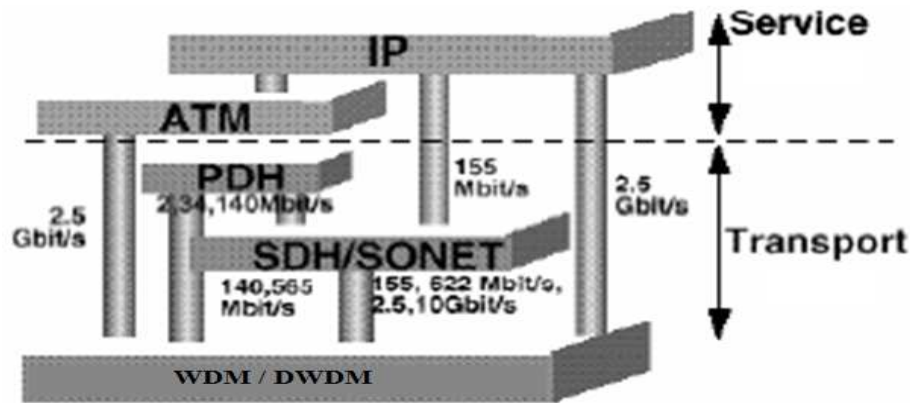


Figure I.19:Le réseau optique.

Le réseau optique futur sera constitué d'une couche de transport optique sur laquelle s'interconnecteront les services IP, ATM. L'élimination de certains protocoles de la couche transport (SDH...) conduira à réduire le nombre d'interface spécifique. [7]

De plus, il est clair que ce réseau mondial n'aurait jamais pu se développer sans l'existence de systèmes de transmission à très grande capacité et offrant des coûts de transmission très faibles.

I-8) Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons vu que la fibre optique est le support le mieux adapté pour la transmission de données, car la lumière permet de transmettre beaucoup d'informations sur sa bande passante qui est très large et permet un grand choix de fréquences et une faible atténuation.

L'interface dominante pour les hauts débits depuis de nombreuses années est SONET /SDH, qui apporte à la fois une vitesse de transmission importante et une sécurisation de l'interface.

De nos jours, les besoins en débits sont de plus en plus croissants et seule la fibre optique apporte une solution durable à cette demande car elle permet d'acheminer des trafics mondiaux engendrés par internet.

Dans le chapitre suivant, nous allons donner un aperçu des réseaux optiques SDH et WDM et leur rôle fondamental de transmission grâce à la fibre optique.

II.1. Introduction:

Le premier réseau de transmission numérique était basé sur la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH). Cependant cette hiérarchie était peu flexible et s'est retrouvée incapable de satisfaire les exigences croissantes des réseaux de transmission modernes. D'où la nécessité de normaliser une nouvelle hiérarchie numérique synchrone (SDH) qui pallie les principaux défauts du PDH et supporte des débits très élevés. Elle garantit la transmission dans une même trame des services de types de débits différents (parole, image, communication multimédia, interconnexion des réseaux locaux, mode de transmission ATM) et un traitement plus souple des voies de transmission et une gestion plus élaborée.

La croissance du trafic internet oblige les opérateurs de réseau à augmenter la capacité de transmission de leur réseau terrestre en fibre optique, donc il faudra offrir des capacités de plusieurs Gigabits bits sur une seule fibre, pour cela une solution alternative est d'utiliser le multiplexage en longueur d'onde (WDM) et l'idée est d'envoyer plusieurs signaux en utilisant différentes longueurs d'ondes dans un multiplexeur.

Dans ce chapitre, nous illustrons l'infrastructure de transport optique basé sur le SDH et WDM, les principales composantes mises en œuvre et la gestion de chaque réseau.

II.2. Définition de la SDH:

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une technologie de transmission synchrone qui utilise principalement la fibre optique vu ses nombreux avantages en terme du débit, de fiabilité, de sécurisation et de supervision à distance du réseau.

La SDH est issue des concepts SONET proposés par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International de Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988. Elles définissent les débits de la trame et les procédés de multiplexage. [9]

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Elle offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

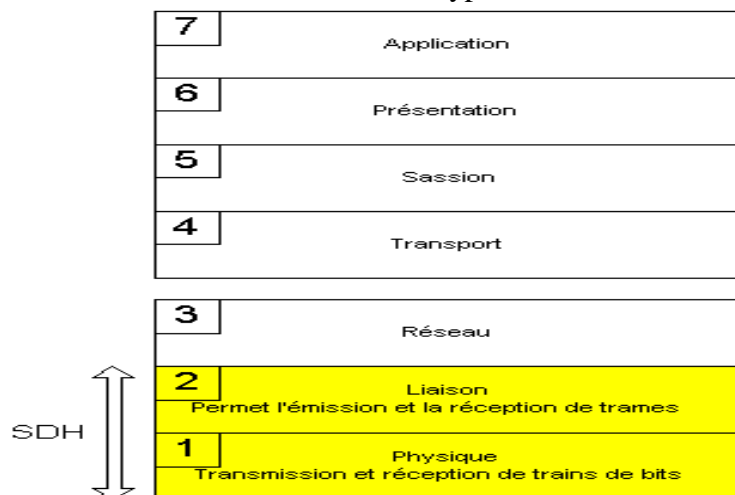


Figure II.1: Situation de SDH dans le modèle OSI

II.2.1. La trame SDH:

Il existe différentes trames de SDH. La trame de base est appelée STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau 1).

Cette trame est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes:

- ✓ Taille : 2430 octets (organisation : 9 rangées / 270 colonnes)
- ✓ Durée : 125µs

Ce qui nous donne un débit de:

$$2430 \times 8 / 125 = 155.520 \text{ Mb/s.}$$

Dans cette trame, 9 octets sont réservés à la gestion et à l'adressage, il reste donc une charge utile de 150, 336 Mb/s, elle contient 3 blocs:

- ✓ **SOH (Section Over Head):** information de transport réservé à l'exploitation.
- ✓ **PTR:** Pointeur.
- ✓ **Payload:** Information à transmettre.



Figure II.2: Structure de la trame SDH STM-1

- ✓ La capacité en octets est donc:

$$9 \times 270 = 2430 \text{ octets}$$

- ✓ La capacité en bits est donc:

$$2430 \times 8 = 19440 \text{ bits}$$

- ✓ D'où un débit de:

$$19440 / 125 \mu\text{s} = 155.520 \text{ Mb/s.}$$

L'information transportée est indiquée par un pointeur qui se situe dans la zone de supervision de la trame. Lorsque la quantité d'information à transporter est supérieure à la zone disponible dans la trame SDH, elle continue dans la trame suivante, la fin étant indiquée par un pointeur de fin.

II.2.2. Les en-têtes:

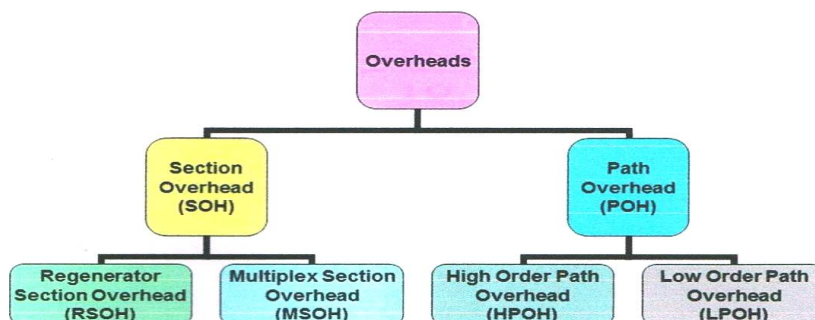


Figure II.3: Les en-têtes.

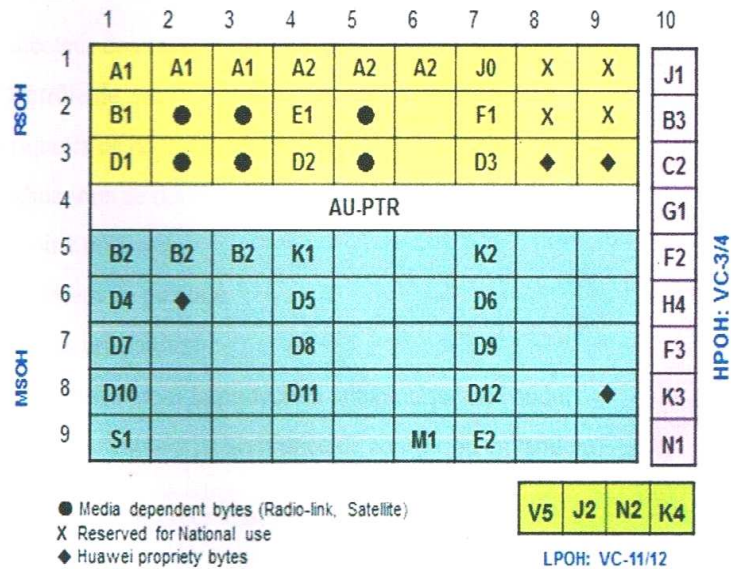


Figure II.4: Les octets de POH et SOH.

II.2.2.1. Le POH (PathOver Head):

Le surdébit de conduit POH (Path Over Head) permet la gestion des voies de communication entre les différents éléments réseau en traçant les chemins que doivent emprunter les données pour arriver à leur destination. Ce surdébit contient des informations liées à la structure du multiplexage, à la qualité des signaux transporté, à la surveillance du conduit en véhiculant des signaux d’alarme et de maintenance à distance.

Le POH est généré et ajouté au conteneur dès son entrée dans le réseau SDH pour former le conteneur virtuel. Le POH procure au conteneur les éléments de sa propre gestion indépendamment des autres entités de transport Son contenue sera extrait et interprété à l’autre extrémité du conduit en sortie du réseau SDH. [10,11]

II.2.2.1.1. Le HPOH (High Path Over Head):

| |
|----|
| J1 |
| B3 |
| C2 |
| G1 |
| F2 |
| H4 |
| F3 |
| K3 |
| N1 |

Figure II.5: HPOH (High Path Over Head)

J1: Indicateur de conduit Path Trace.

B3: Contrôle de qualité (BIP-8).

C2: Etiquette de conduit (Signal label).

G1: Indication de défauts distantes (RDI, REI).

F2: Besoins utilisateurs.

H4: Indicateur de position.

F3: Besoin utilisateurs.

K3: Canal utilisé pour la protection automatique de conduit.

N1: Besoin opérateurs (Surveillance de connexion en tandem).

II.2.2.1.2. Le LPOH (Low Path Over Head):

| | | | |
|----|----|----|----|
| V5 | J2 | N2 | K4 |
|----|----|----|----|

Figure II.6: LPOH (Low Path Over Head)

V5: La vérification d'erreurs.

N2 : Besoin d'opérateurs.

J2 : Indicateur de conduit.

K4 : Réserve pour les futures utilisations.

II.2.2.2. Le SOH (Section Over Head):

Une section désigne une portion physique de chemin entre deux nœuds. La norme SDH associée à la section une entête, le SOH qui contient de données de contrôle de la transmission de nœud à nœud (Commutation de protection, supervision des erreurs).

La section est partagée entre:

- La section de régénération.
- La section de multiplexage.

Le surdébit SOH est partagé entre deux surdébits: RSOH et MSOH: [10,11]

II.2.2.2.1. L'en-tête de section régénération (RSOH):

Il est constitué dans les 3 premières rangées et les 9 premières colonnes de la trame STM-1 comme le montre le tableau suivant. Cet entête est utilisé pour gérer le transfert d'informations entre les générateurs et les locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeur ou démultiplexeur DXC).

| | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|---|---|
| A1 | A1 | A1 | A2 | A2 | A2 | J0 | X | X |
| B1 | | ● | E1 | ● | | F1 | X | X |
| D1 | ● | ● | D2 | ● | | D3 | | |

Figure II.7: Les réseaux de section régénération (RSOH)

La signification des octets du RSOH est la suivante:

A1, A2: Ces octets sont utilisés pour le verrouillage de trame. Pour une trame STM-1 la structure est A1A1A1A2A2A2,

Où : A1 est 11110110=f6H.

A2 est 00101000=28H.

J0 : cet octet est utilisé pour la trace de section de régénération, identificateur de section (section trace).

B1 : utilisé pour la surveillance d'erreurs pouvant survenir sur le trafic.

E1 : entre deux équipements terminaux de la section de régénération (valable pour STM-1 seulement).

F1 : permet une voie de service de 64Kb/s.

D1 à D3: permettent un canal de communication de données à 192b/s affectés à la communication de données d'administration et de contrôle du réseau de la section de régénération.

X : sont des bits réservés pour une utilisation nationale.

● : sont des octets dont la valeur dépend du média de transmission (transmission radio, satellite).

II.2.2.2.2. L'en-tête de section multiplexage (MSOH):

Le surdébit de section de multiplexage est structuré dans les lignes 5 à 9, et de 9 premières colonnes de la trame STM-1 comme le montre le tableau suivant. Il est utilisé pour gérer le transfert de bout en bout de l'information entre les générateurs et les locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeur ou démultiplexeur DXC).

Ces réseaux assurent leurs fonctions en associant à chaque entité de données de niveau supérieur une en-tête de section de multiplexage (MSOH).

| | | | | | | | | |
|-----|----|----|-----|--|----|-----|--|--|
| B2 | B2 | B2 | K1 | | | K2 | | |
| D4 | | | D5 | | | D6 | | |
| D7 | | | D8 | | | D9 | | |
| D10 | | | D11 | | | D12 | | |
| S1 | | | | | M1 | E2 | | |

Figure II.8: Les réseaux de section de multiplexage (MSOH)

La signification des octets du MSOH est la suivante:

- ✓ **B2**: trois octets réservés pour la détection des erreurs.
- ✓ **K1, K2**: deux octets affectés à la commande de signalisation de protection automatique entre deux équipements terminaux de la section de multiplexage.
- ✓ **D4 à D 12**: il représente un canal de données (DCCM) pour transporter les flux de gestion au niveau de la section de multiplexage. Le DCCM est constitué de 9 canaux à 64Kb/s, soit un débit de 576 Kb/s.
- ✓ **S1 (Status byte)**: marqueur de qualité de la synchronisation.
- ✓ **M1**: Indication d'erreur distante sur la section de multiplexage.
- ✓ **E2** : voie de service entre multiplexeurs.

II.2.2.3. Les pointeurs (PTR):

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, toutes en pouvant le localiser immédiatement, la norme SDH utilise un pointeur. Le principe est donc de ne pas placer le conteneur à un endroit précis dans la trame, ce qui nécessiterait l'utilisation de mémoire tampons pour synchroniser l'ensemble, mais bien d'indiquer dans une zone mémoire appelé pointeur, l'adresse relative de conteneurs par rapport au début de la trame. Le pointeur a deux fonctions importantes :

- ✓ Rattraper le déphasage des trames synchrones.
- ✓ Assurer la synchronisation des trames asynchrones.

Le principe est simple: SDH utilise des pointeurs et une technique de justification « négative

nulle-positive » pour pouvoir faire flotter les informations utiles dans la trame ainsi le décalage de phase entre les horloges des équipements source sont absorbés. [10]

➤ **Justification du pointeur**: Bien que le réseau soit synchronisé, il existe toujours un problème d'asynchronisme, l'horloge locale n'est jamais exactement synchrone et que la gigue et le dérapage affectent le transport de trame synchrone d'un nœud vers un autre à travers le réseau. Pour le résoudre, on utilise le mécanisme des pointeurs mais aussi des octets de justification:

- ❖ **Justification positive** : Si le débit d'affluent est inférieur au débit nominal, l'affluent ne pourra être inscrit sur la durée d'une trame, la capacité de la charge utile ne sera plus utilisée en totalité et des octets de bourrage seront insérés.
- ❖ **Justification négative**: Si le débit d'affluent est supérieur au débit nominal, l'affluent doit pouvoir déborder hors de la capacité utile, des octets sont réservés à cet effet dans le surdébit.

❖ **Justification nulle:** Si le débit d'affluent est égal au débit nominal, aucun décalage n'est fait.

II.2.3. Le multiplexage SDH:

Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport module, niveau n). Pour SONET ils sont organisés en STS-n (Synchronous Transport signal, niveau n). [10] La hiérarchie SDH de l'UIT-T est récapitulée au tableau suivant:

| STM-n | Débit/s | Support |
|---------|------------|--------------------|
| STM-1 | 155 Mbit/s | FO, radio, coaxial |
| STM-4 | 622 Mbit/s | Fibre Optique |
| STM-16 | 2.5 Gbit/s | Fibre Optique |
| STM-64 | 10 Gbit/s | Fibre Optique |
| STM-256 | 40 Gbit/s | Fibre Optique |

Tableau II.9:Répertoire des débits de la hiérarchie SDH

Les liaisons SDH normalisées sont au nombre de trois, correspondant au STM-1, STM-4, STM-16. La trame de base est multipliée par 4 dans le deuxième cas et par 16 dans le troisième.

Les conteneurs virtuels pour ces niveaux sont les VC-4. Le transport de ces containers s'effectue par un multiplexage temporel comme illustré à la figure II.10, dans la quelle 4 trames VC-4 sont découpé et entrelacées octets par octets.

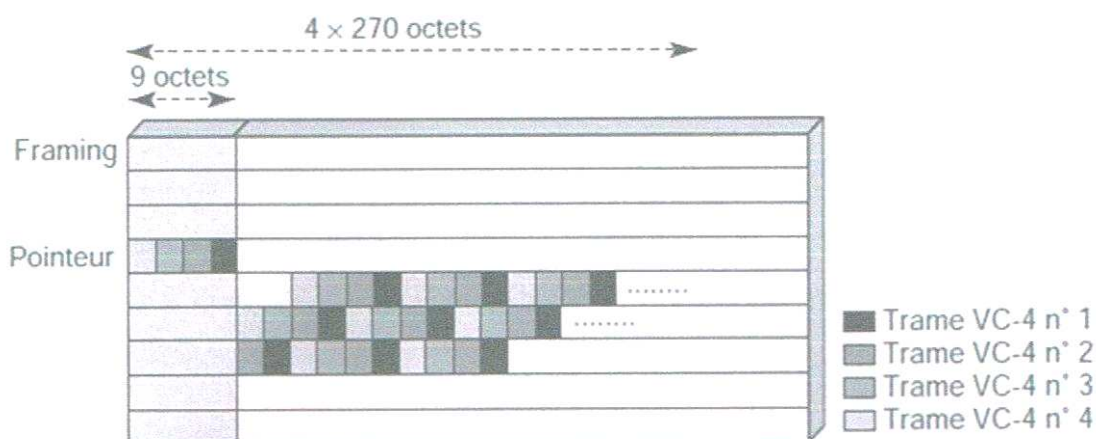


Figure II.10:Multiplexage de containers VC- 4 sur une trame STM- 4.

II.2.3.1. Principe 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 (High Order).

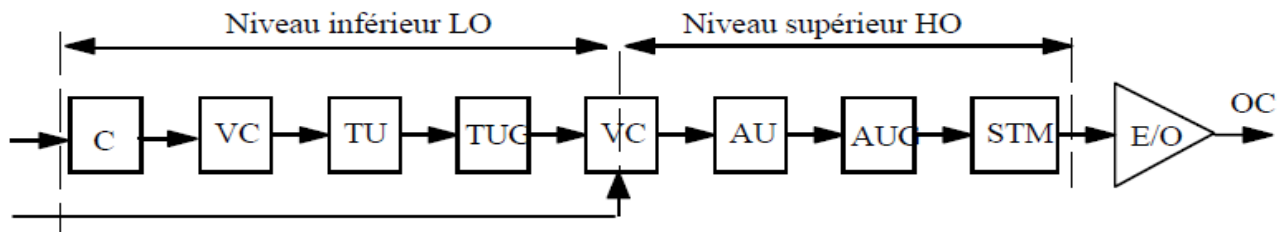


Figure II.11: Les niveaux démultiplexage SDH.

Lors du 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 (AU), Administrative Unit Group (AUG), et Synchronous Transport Module (STM).

II.2.3.2. Les éléments de la hiérarchie synchrone:

❖ Le Conteneur «C-n »:

Le conteneur C-n est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits définis par le CCITT.

Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plesiochrone du départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants.

Le « n » de C-n dépend du débit entrant, par exemple C-4 correspond à 139264 Kb/s, le C-3 pour 44736 ou 34368 Kb/s, le C-12 pour 2048 Kb/s, le C-11 pour 1544 Kb/s.

Un conteneur est dimensionné pour assurer un des débits définis par le CCITT, et qui sont regroupés dans le tableau suivant:

| Affluent (Mb/s) | Conteneur |
|-----------------|-----------|
| 1.5 | C-11 |
| 2 | C-12 |
| 6 | C-2 |
| 34 | C-3 |
| 45 | C-3 |
| 140 | C-4 |

Tableau II.12: La correspondance affluent –conteneur.

❖ Le conteneur virtuel VC-n:

Le conteneur virtuel VC-n est obtenu à partir de conteneur en lui ajoutant un surdébit de conduit POH (Path Over Head) utilisé pour la gestion du conduit. C'est le conteneur virtuel VC qui est l'entité gérée par le réseau SDH. L'ensemble constitue ce qu'on appelle un conteneur virtuel VC (Virtual Container).

$$VC=C+POH$$



Figure II.13:Conteneur virtuel.

Les conteneurs virtuels VC sont les éléments de base transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proches jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM- 1 constituée 2430 octets.

❖ **L'unité tributaire (TUn):**

L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit) est composée de VC- n et d'un pointeur PTR associé. Pour pouvoir localiser un VC dans une trame SDH sans que celui-ci ne soit placé toujours à la même position, on utilise un pointeur qui indique l'adresse relative du VC par rapport au début de la trame. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport.

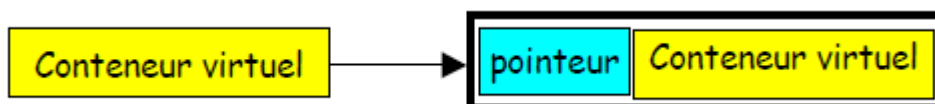


Figure II.14: Tributary Unit TU.

❖ **Le groupe d'unité d'affluent « TUG-n»:**

Le Groupe d'Unités tributaires TUG (Tributary Unit Group) représente une structure virtuelle de la trame résultant dans le multiplexage des unités tributaires et non pas une nouvelle entité physique. Il constitue un regroupement des TU dans un espace réservé d'une entité supérieure (TUG supérieur ou VC-4).

On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TU dans cette entête supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut ainsi avoir:

- ✓ Le TUG 2 regroupant 3 TU₁₂ ou 1 TU₂.
- ✓ Le TUG 3 regroupant 7 TU₂ ou 1 TU₃.

❖ **Unité administrative «AU-n »:**

L'unité administrative (Administrative Unit), AU₄, est composée du VC₄ et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement de début du VC-4 dans la trame.

❖ **Le groupe d'Unités Administratives:**

Le groupe d'Unités Administratives n'est pas une nouvelle entité physique, mais seulement une structure virtuelle de la trame STM- n. L'AUG correspond à la place que doit occuper AU-4 dans la trame de transport.

Les trames de transport STM- n (Synchronous Transport Module) sont obtenus en multiplexant n AUG (et non n STM1) et en rajoutant un surdébit dit en-tête de section **SOH** (Section Over Head).

- ✓ La trame de Base STM-1 (155.520 Mbits/s) contient 1 AUG et son SOH.
- ✓ La trame STM-4 (622.080 Mb/s) contient 4 AUG et son SOH.
- ✓ La trame STM-16 (2488.320 Mb/s) contient 16 AUG et son SOH.

II.2.3.3. Structure de multiplexage SDH:

Il s'agit de recevoir et de grouper des flux de données fournis par des affluents pour les transporter la figure suivante (arbre de multiplexage SDH) résume toutes les étapes de multiplexage SDH:

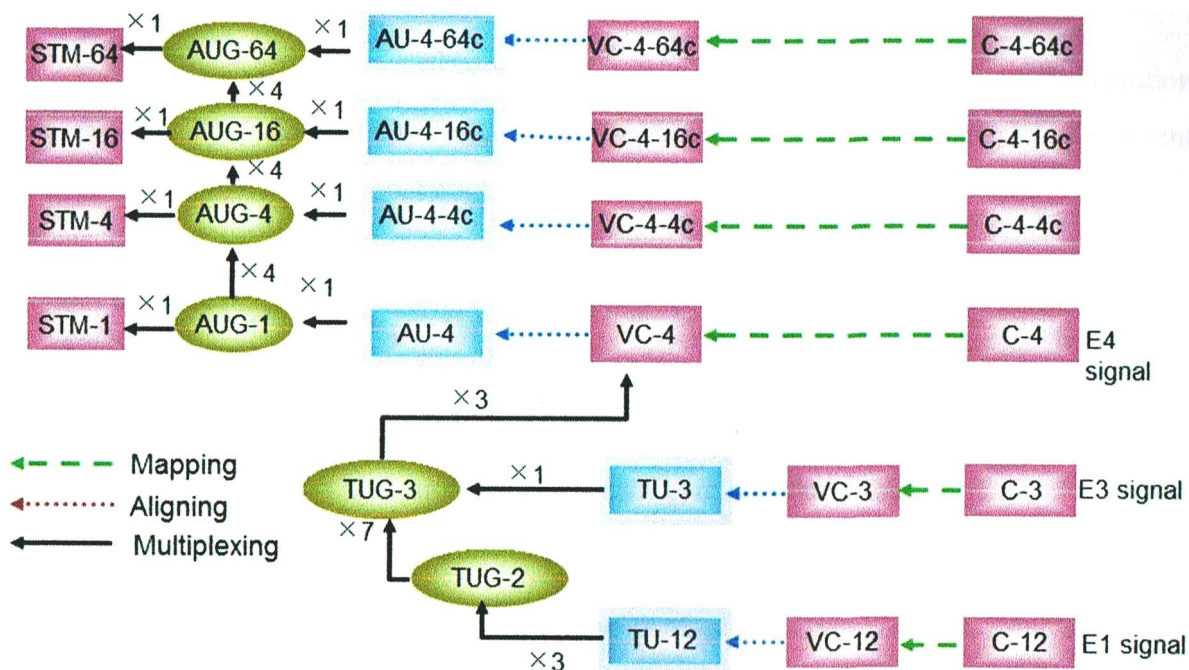


Figure II.15: Structure de multiplexage SDH.

II.2.4. Le réseau SDH:

II.2.4.1. Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH:

Le réseau de transmission SDH est composé d'un ensemble d'éléments réseau (NE) connectés via des câbles à fibre optiques. Ces équipements assurent les différentes tâches attribuées à un réseau SDH comme extraction/insertion, brassage, régénération. [7]

- Les multiplexeurs d'accès: permettant le multiplexage et le démultiplexage de plusieurs affluents plésiochrones et/ou synchrones.
- Les multiplexeurs à insertion/extraction (ADM, Add Drop Mux): assurent le transfert des données d'Est en Ouest ($E \leftarrow \rightarrow W$) tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion de sous-débit.
- Les brasseurs numériques (DXC, Digital Connect) modifient l'affectation des flux d'information entre un affluent d'entrée et un affluent de sortie. Le croisement de flux est défini par l'opérateur, il est permanent.

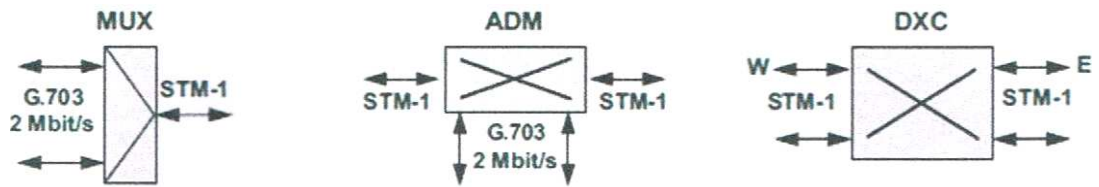


Figure II.16: Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH.

II.2.4.2. Les topologies du réseau SDH:

Un réseau SDH est un ensemble d'éléments réseau (ADM, ATM...etc) interconnectés entre eux par un câble à fibre optiques. Une topologie réseau est une structure géométrique des éléments réseau et des lignes de transmission.

L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux à ces considérations (L'efficacité, la fiabilité et la rentabilité d'un réseau dépendent largement de sa topologie), cependant, on constate dans la pratique un mélange de topologies, anneau, maillé et parfois on utilise d'autres topologies point à point ou en bus. [10]

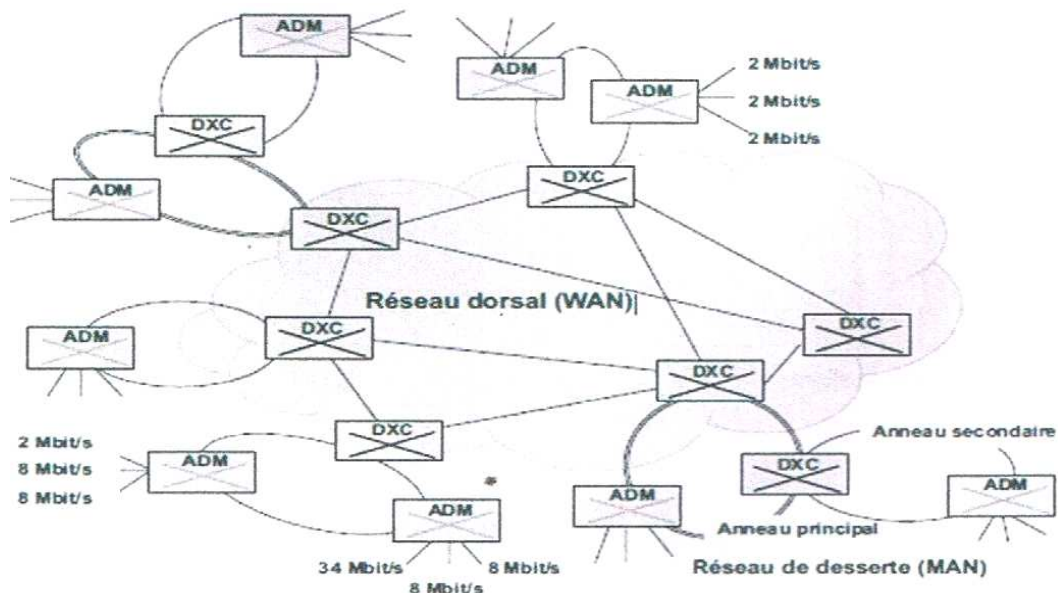


Figure II.17: Infrastructure du réseau SDH.

- ❖ **DXC:** Les brasseurs numériques (Digital Cross Connect).
- ❖ **ADM:** Les multiplexeurs insertion – extraction (Add - Drop).

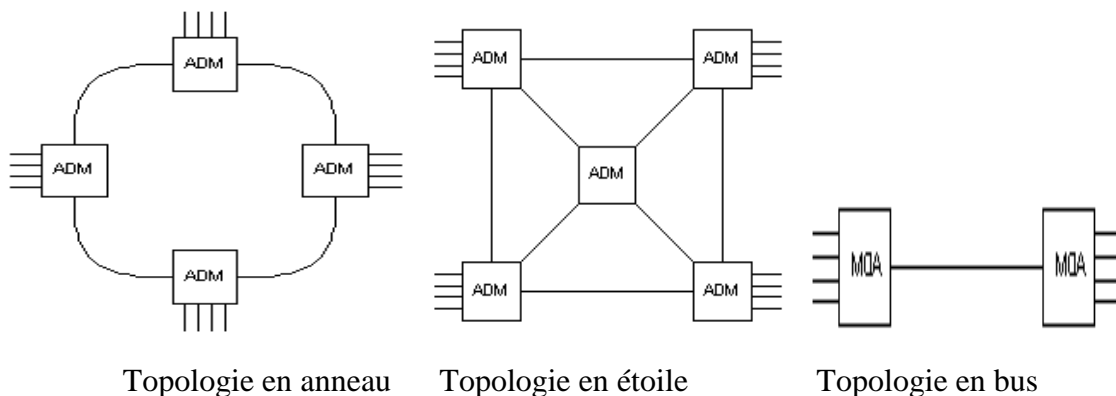


Figure II.18: Les différentes Topologies.

II-3) Le multiplexage en longueur d'onde WDM:

II-3-1) Principe de WDM:

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes.

Le WDM consiste à diviser le spectre optique en plusieurs sous canaux, chaque sous-canal étant associé à une longueur d'onde. La fibre optique se prête bien à ce type d'usage car sa bande passante est très élevée: de l'ordre de 25 000 Ghz. Elle présente donc un fort potentiel au multiplexage de très nombreux canaux sur de longues distances.[12]

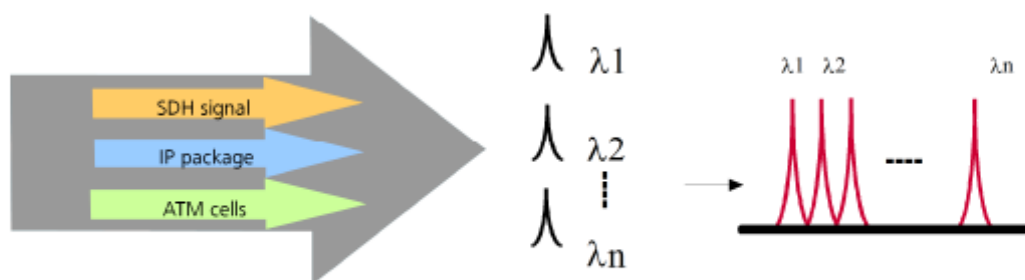


Figure II.19: WDM concept.

II.3.2. Description de WDM:

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à longueurs d'ondes différentes mais assez proches dans le voisinage des 1550 nm, et de multiplexeur / démultiplexeur optiques pour combiner/ séparer l'ensemble des signaux optiques dans la fibre. [13,14]

La figure II.20.représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM.

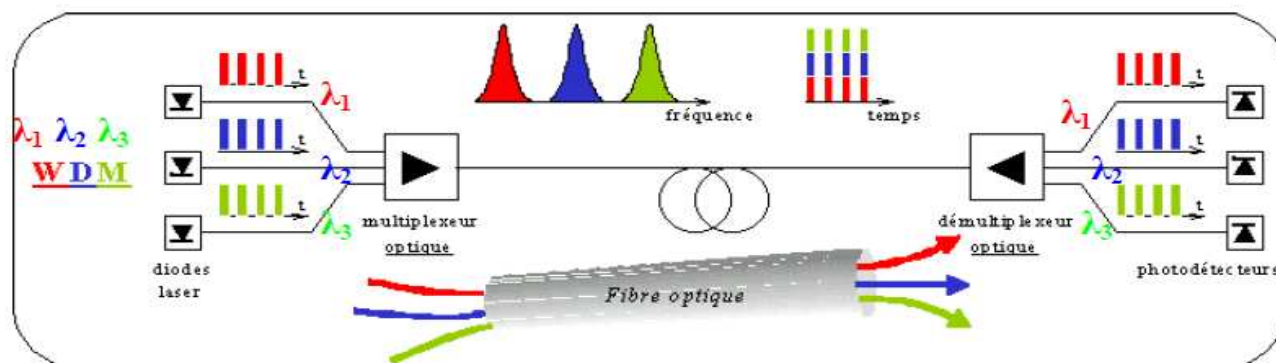


Figure II.20: Schéma de principe du multiplexage WDM.

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiple dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'ondes émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses: qualité de la fibre, qualité des multiplexeurs/démultiplexeurs, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source.

La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à $N \cdot D$. Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système.

La norme ITU-T définit la plage de longueurs d'ondes est de 1.6 ou 0.8 nm. Le peigne de fréquence dans les réseaux WDM est présenté dans la figure II.21.

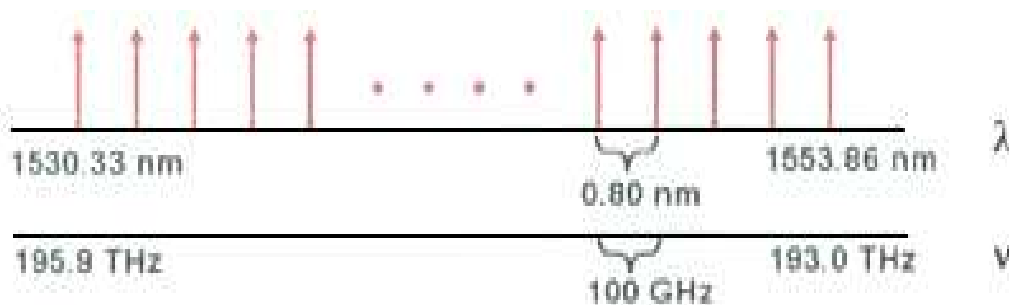


Figure II.21: Peigne des fréquences en WDM.

II.2.3. Application de WDM:

L'intérêt premier du WDM est de permettre le transport de débits d'informations très importants sur une même fibre, à destination de plusieurs utilisateurs. On trouve aujourd'hui des systèmes à $4 \cdot 10$ Gb/s, $16 \cdot 10$ Gb/s. Mais le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission WDM s'est fait lorsqu'il a été associé à l'amplification optique.

En effet, l'apparition des amplificateurs à fibre dopée à l'Erbium (EDFA) a permis l'amplification simultanée de l'ensemble des N canaux d'un multiplex, sans distorsion du signal utile et envoyer des canaux dans une fibre optique plutôt que N fibres devenait un avantage économique indiscutable. S'il y a encore peu de temps, l'espacement entre canaux était de l'ordre de 1 nm.

Une seconde application du WDM concerne les réseaux locaux. Chaque abonné se voit alors attribuer une longueur d'onde, c'est-à-dire une « couleur ». [14]

Cette méthode présente l'avantage de permettre une évolution continue du réseau par l'adjonction de nouveaux services ou de nouveaux abonnés simplement par insertion d'une nouvelle longueur d'onde.

II.3.4. Structure du système WDM :

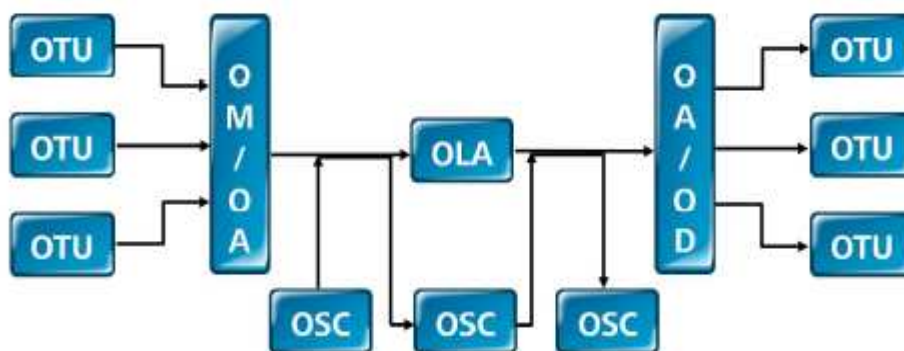


Figure II.22 Structure de système WDM.

- ❖ **OTU (Optical Transponder Unit):** La réception des services clients et de convertir en un signal WDM normalisé.
- ❖ **OM (Optical Multiplexer):** Multiplexeur des services de différentes longueurs d'onde.
- ❖ **ODU (Optical De-multiplexer Unit):** Démultiplexeur des services.
- ❖ **OA (Optical Amplifier):** Amplificateur Optique.
- ❖ **OSC (Optical Supervisory Channel) :** Canal de supervision optique.

II.3.5 Modes de transmission de WDM:

II.3.5.1 Transmission unidirectionnelle:

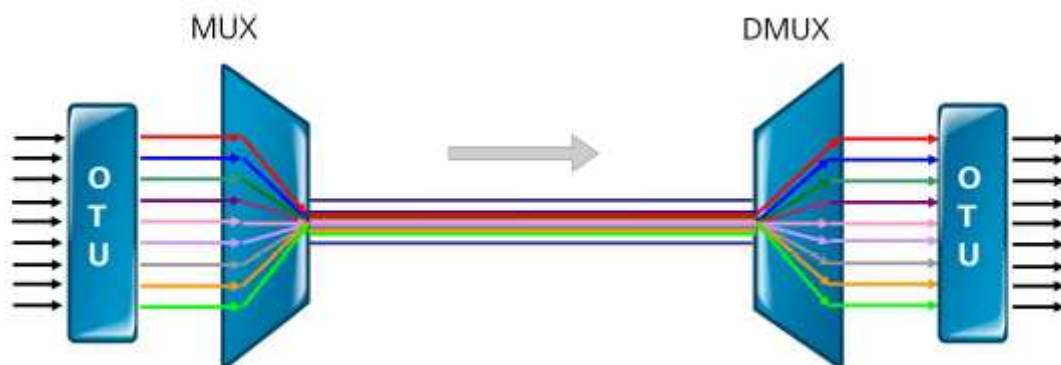


Figure II.23: Transmission unidirectionnelle.

Le système WDM unidirectionnelle adopte deux fibres optiques, un implémente que la transmission de signaux dans un sens, et un autre équipement (ADM) met en œuvre la transmission de signaux dans la direction opposée, largement utilisé dans le monde entier.

II.3.5.2 Transmission bidirectionnelle :

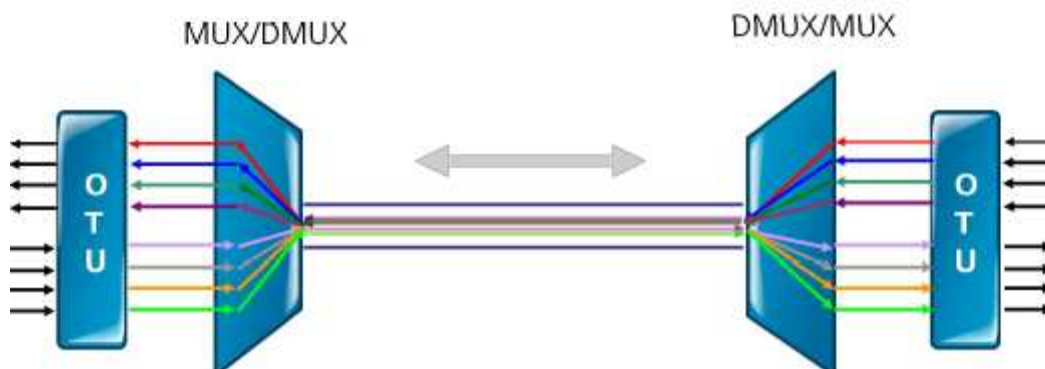


Figure .II.24 Transmission bidirectionnelle.

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique qui transmet des signaux optiques dans les deux directions simultanément en longueurs d'onde différentes.

II-4) Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons vu que le réseau optique SDH constitue une réponse technique à une demande de réseau de transmission plus souple (accès direct aux affluents, surdébit d'exploitation, interconnexion des systèmes haut débit,...). La structure même de la trame qui, implicitement contient la notion de couche, a permis d'élaborer un modèle d'architecture de réseau et une description d'équipement par bloc fonctionnel.

L'évolution de SDH permet aujourd'hui d'atteindre des records en termes de débit. Mais elle fait face à une réalité économique qui est l'apparition d'une nouvelle technologie permettant la mise en place de réseaux tout optique de type WDM.

La capacité des systèmes de transmission à multiplexage en longueur d'onde WDM a récemment augmenté d'une manière spéculaire, en raison notamment de la multiplication du nombre de canaux, toutefois pour atteindre des capacités encore plus grandes, il faudra augmenter le débit binaire par canal, rapprocher les canaux et élargir la bande passante optique exploitée.

Aujourd'hui, la technologie WDM n'a pas encore atteint ses limites. De plus, de nouvelles technologies en cours de développement vont permettre à priori de multiplier encore plus les capacités des systèmes optiques.

Dans le chapitre suivant, nous allons introduire la technique de transmission DWDM ainsi que sa mise en œuvre dans les réseaux optiques.

III-1) Introduction:

Une des grandes tendances de la fin des années 90 est la demande croissante en bande passante des réseaux d'entreprises et d'opérateurs. La course vers les débits plus élevés est due à plusieurs facteurs tels que l'augmentation incessante du nombre d'utilisateurs de l'Internet, les applications de calcul incluant les bases de données distribuées, les communications multimédia et le commerce électronique.

Ainsi, pour remédier à cette demande, des composants et dispositifs suffisamment performants et fiables sont mis en place et on permis l'apparition des premiers systèmes de transmission optique tel que le multiplexage en longueurs d'ondes WDM (Wavelength Division Multiplexing) où le réseau est segmenté en fonction des différents besoins en débit, en bande passante et en distance de transmission avec un débits allant de 10 Gb/s à 40 Gb/s même plus.

Par contre un besoin d'un débit de transmission d'informations plus élevé est apparu donc la mise en application de la nouvelle technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) a pu répondre à cette demande en utilisant plus de 16 canaux.

L'étude de cette technologie s'articule en premier temps sur la description d'une liaison optique, par la suite, nous introduirons la technique de transmission DWDM et sa mise en œuvre dans les réseaux optiques.

III-2) Liaison optique point à point:

Un système de transmission optique se compose de composants suivants: Un émetteur, un multiplexeur/démultiplexeur, une ligne de transmission, censée se composer de fibres optiques et d'amplificateurs optiques qui substituent les régénérateurs électrique et d'un récepteur.

La partie émission optique est constituée d'une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL) ayant pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. Ensuite, le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information.

Enfin, le récepteur (photodétecteur) convertit le signal optique reçu en signal électrique.

[15]

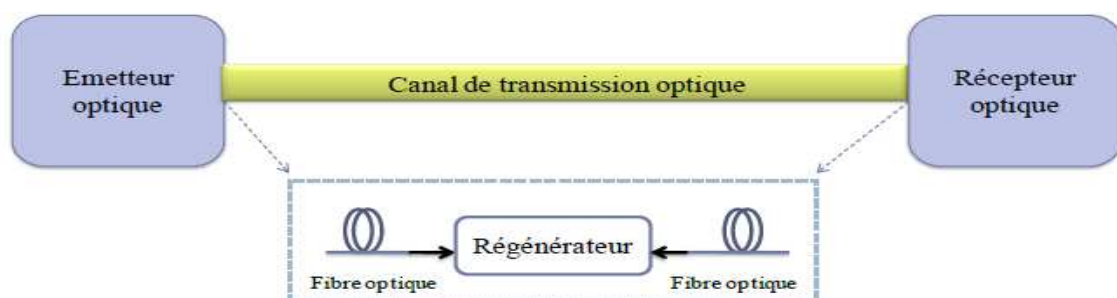
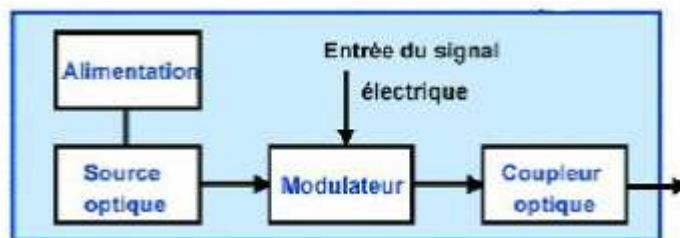


Figure III.1 : Liaison optique point à point.

III-2-1) Emetteur optique :

Dans les systèmes de transmission par fibres optiques, on utilise de préférence comme source optique des composants à semi-conducteurs qui ont des dimensions bien adaptées au diamètre du cœur de la fibre et l'on bénéficie des avantages de la technologie des semi-conducteurs permettant la production en grande quantité de produits fiables et économiques.



Figures III.2: Structure d'un émetteur optique.

- Les composants essentiels d'un émetteur optique sont:

III-2-1-1) Source optique:

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de télécoms par fibres optiques. Leur fonction fondamentale est d'assurer la conversion d'énergie électrique-optique (conversion électro-optique).

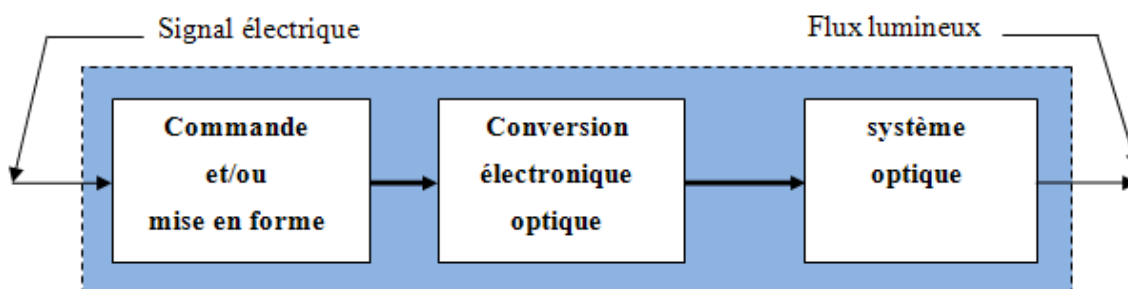


Figure III.3 : Schéma fonctionnel d'un émetteur de lumière.

En télécoms optiques, la nécessité d'utiliser de plus en plus larges bandes passantes impose le choix des sources à spectres réduits telles que les DLs et DELs; ces deux sources sont réalisées à partir de jonction PN polarisée en direct, le principe d'émission est dû à la recombinaison des paires électron-trou. [4]

III-2-1-1-1) La diode électroluminescente (DEL):

C'est une source présentant un spectre d'émission assez large et un diagramme de rayonnement moins directif. Elle est utilisée dans les systèmes de transmission qui ne nécessitent pas de très grandes bandes passantes.

Les diodes électroluminescentes présentent deux inconvénients majeurs: la lumière (générée) est émise dans toutes les directions d'où les pertes importantes et la largeur de signal émis est grande, environ 40 nm. [16]

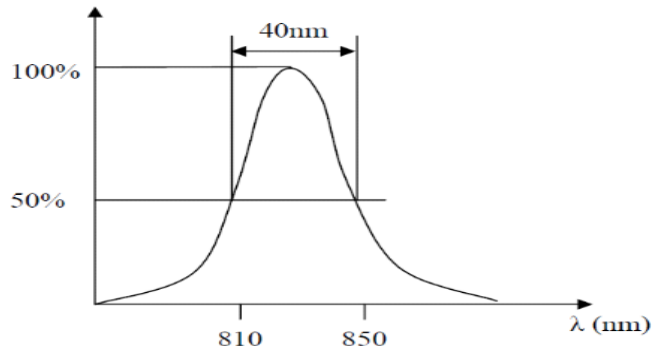


Figure III.4: Spectre d'émission d'une DEL.

III-2-1-1-2) La diode laser (DL):

La diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre elles sont caractérisées par l'étroitesse de la longueur d'onde qu'elles émettent, le spectre émis se composant de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde.

La diode laser est une source cohérente, elle est utilisée dans les systèmes de transmission à très grande distance; elle est caractérisée par: une faible largeur spectrale et une bande passante importante. [16]

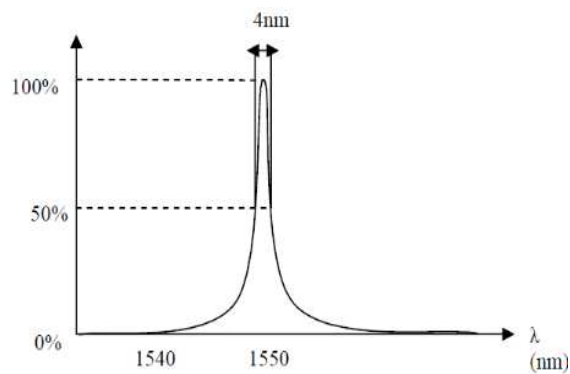


Figure III.5: Spectre d'émission d'une DEL.

Par conséquent, la diode électroluminescente émet de la lumière par émission spontanée, par contre dans le cas de la diode laser l'émission est stimulée.

III-2-2) Modulateurs:

Un modulateur, est un système capable de modifier les paramètres de la lumière (amplitude et phase). Deux méthodes sont utilisées pour moduler les ondes optiques, la modulation directe et la modulation externe.

- ❖ Dans la modulation directe, on modifie le courant de polarisation injecté dans la source optique. Cette technique est simple et peu coûteuse.
- ❖ Dans la modulation externe, le signal optique provenant de la source est mélangé avec un autre signal optique issu d'un oscillateur local, à travers un modulateur optique.

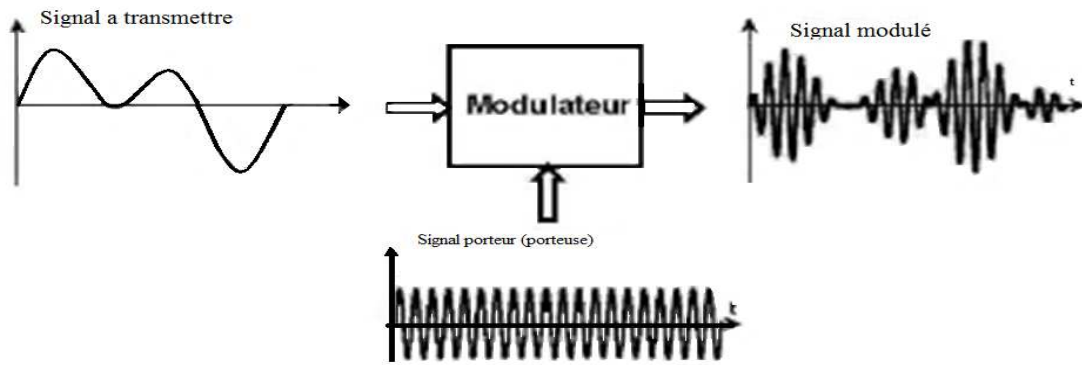


Figure III.6: Principe d'une modulation.

III-2-3) Multiplexeur /Démultiplexeur optique:

Le multiplexeur en longueur d'onde est défini comme étant un dispositif de dérivation avec deux accès de sortie, où la lumière à chaque accès d'entrée est restreinte à une gamme de longueurs d'onde présélectionnée, et la sortie est une combinaison de lumières provenant des accès d'entrée.

Par contre, le démultiplexeur en longueur d'onde est un dispositif qui effectue l'opération inverse. Disposant des sources émettant à des longueurs d'ondes différentes $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$, on a la possibilité de les coupler à une même fibre optique. A l'autre extrémité de la fibre, les signaux $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ seront séparés vers des détecteurs différents. [17]

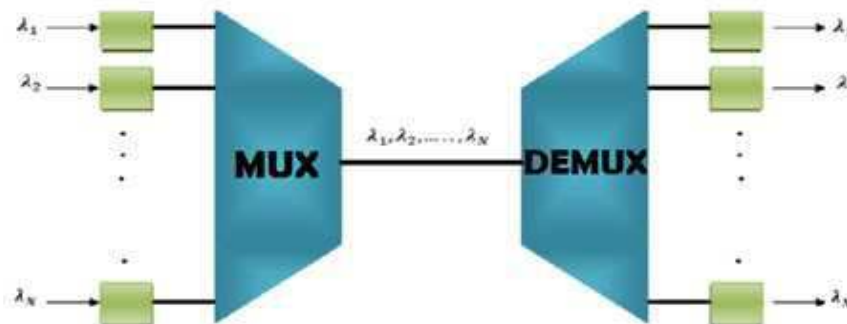


Figure III.7: Multiplexeur /Démultiplexeur en longueur d'onde.

III-2-4) Amplificateur optique:

L'amplificateur optique présente de nombreux intérêts qualitatifs par rapport au répéteur régénérateur qui doit être conçu pour un débit bien spécifique.

En effet, dans un amplificateur optique, la bande passante n'est plus limitée par l'électronique et peut atteindre plusieurs centaines de gigahertz.

L'amplification optique repose sur le phénomène d'émission stimulée. Le signal est amplifié dans un guide (semi-conducteur ou fibre) grâce à un rapport extérieur d'énergie appelé pompage (courant injecté ou source de lumière) qui crée une inversion de population.

La recombinaison électron-trou peut ensuite être provoquée par un photon incident, ce qui donne naissance à un deuxième photon de même fréquence, de même phase et même

direction. Cette émission est dite stimulée et conduit à une amplification du signal. En même temps, la recombinaison peut se faire sans la présence d'un photon incident.

Ces photons, émis de façon spontanée, de manière non cohérente, constituent le bruit de l'amplification optique.

L'ensemble des photons, originels ou pas, subissent une série d'amplifications. Les photons spontanés seront aussi amplifiés, ce qui définit la source de bruit appelée ESA (Emission Spontanée Amplifiée). [4]

Deux types d'amplificateurs optiques ont aujourd'hui des amplifications clairement identifiées :

III-2-4-1) Les amplificateurs à semi conducteur AOSC :

Les premiers travaux sur les AOSC ont démarré au début des années 80, à partir du moment où les lasers à semi-conducteurs fonctionnaient en continu avec une fiabilité acceptable. Leur structure de base est peu différente de celle d'une diode laser.

Contrairement aux lasers à semi-conducteurs, il n'y a pas de miroirs aux extrémités mais un revêtement antireflet déposé sur les faces clivées afin de diminuer les réflexions de la lumière vers l'intérieur du circuit. [16]

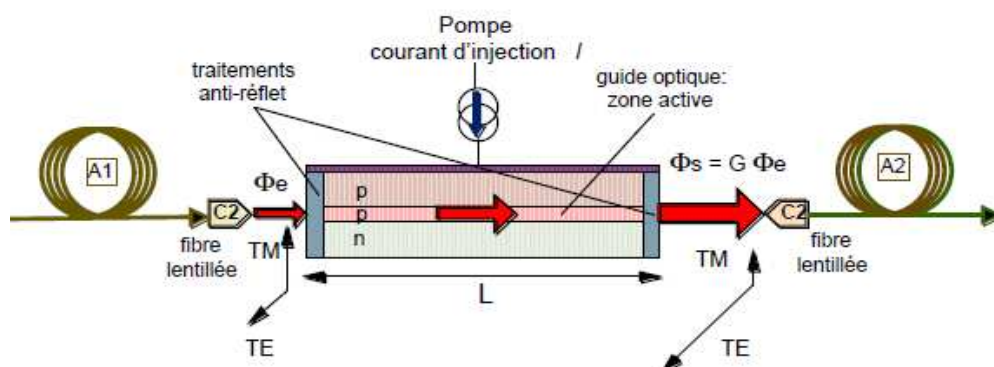


Figure III.8: Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur.

La lumière incidente entre dans le circuit, elle est amplifiée sortant de l'autre extrémité pour être couplée dans la fibre. Idéalement, il n'y a pas de réflexion du signal dans l'amplificateur.

III-2-4-2) Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA):

Le milieu amplificateur est le cœur d'une fibre optique monomode dopée avec des ions de terre rare. Pour que la fibre ne soit pas absorbante, mais amplificatrice, il faut l'associer à un pompage optique.

Un multiplexeur permet de coupler le flux lumineux puissant provenant d'une diode laser de pompe et le signal à l'intérieur de la fibre. Les longueurs d'onde de pompe doivent permettre des transitions vers les états excités des ions de terre rare et créer l'inversion de population.

L'ensemble, module de pompe, multiplexeur et fibre dopée forment l'amplificateur le plus rudimentaire.

Pour l'amplification autour de 1550 nm, fenêtre spectrale la plus utilisée, car de faible atténuation dans les fibres optiques en silice, les dopants sont des ions Erbium Er^{3+} . On parle alors d'amplificateur à fibre Dopée à l'Erbium (EDFA). [4]

La 980 nm et 1480 nm sont les deux longueurs d'onde de pompe les mieux adaptées à l'EDFA. Des diodes lasers à semi-conducteur sont disponibles à ces longueurs d'onde (lasers en AlGaAs 980 nm et lasers en InGaAsP à 1480 nm). Le multiplexeur optique, sélectif en longueur d'onde, doit présenter une perte d'insertion faible à ces deux longueurs d'onde afin d'optimiser le rendement optique du système.

Des isolateurs présents à chaque extrémité assurent aussi la stabilité en bloquant tous les faisceaux lumineux susceptibles de revenir en amont.

Le signal de pompe peut être couplé dans la fibre en co-propagation (même sens pour le signal portant l'information et le signal de pompe) afin de réduire le facteur de bruit ou en contre propagation (sens opposé du signal de pompe/ signal utile) favorisant ainsi une plus forte puissance

de saturation [16]. Mais afin d'augmenter et uniformiser dans la fibre dopée l'inversion de population et donc l'amplification du signal, un double pompage aux deux extrémités peut également être réalisé.

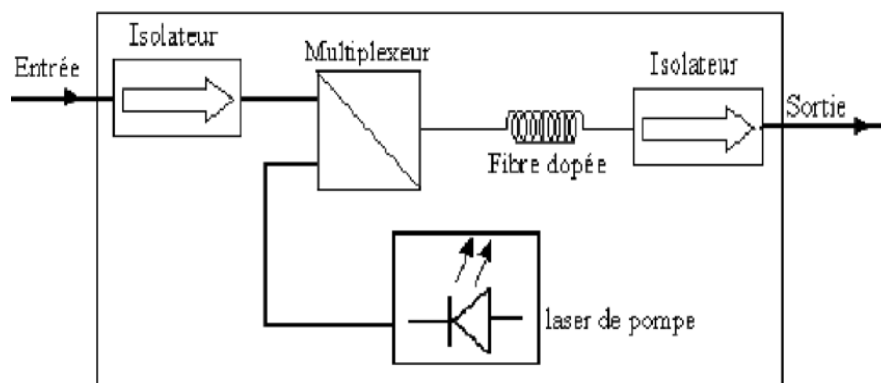


Figure III.9: Amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium.

III-2-4-2) Amplificateur Raman:

L'utilisation constructive de l'effet Raman dans la fibre pour l'amplification est basée sur les propriétés intrinsèques des fibres de verre pour obtenir l'amplification des signaux.

La fibre de transport représente un milieu de gain pour minimiser les atténuations; l'amplification Raman dépend essentiellement de la puissance de la pompe et de la différence en fréquence séparant la longueur d'onde de la pompe de celle des signaux. [18]

Un photon pompe incident est diffusé par une molécule en perdant une portion de son énergie au profit de l'excitation d'un mode de vibration (phonon). C'est l'effet Raman. Le photon diffusé sert à amplifier le signal incident. Pour les fibres de silice, l'écart entre les

photons pompe et signal est d'environ 100 nm; donc pour amplifier un signal à 1550 nm on doit pomper à 1450 nm.

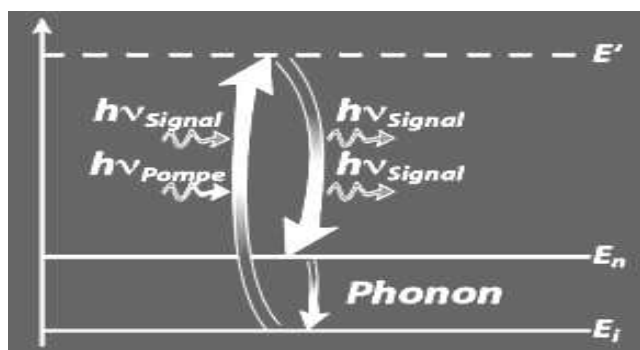


Figure III.10: Amplification Raman.

L'effet Raman est un processus non-linéaire qui se produit au dessus d'un seuil de puissance qui dépend de la fibre. Les pompes Raman sont très puissantes typiquement 1W et plus Requière des mesures de sécurité particulières, à la fois pour les usagers et pour le matériel

Le pompage Raman peut être:

- Co-directionnel: améliore le rapport S/B
- Contra-directionnel: fournit surtout du gain
- Les deux : quand on a besoin d'allonger la liaison

III-2-4-2-1) Utilisation de l'Amplificateur Raman:

Le but de cet amplificateur est de pouvoir compenser les pertes dans signal le long de son parcours dans la fibre optique. L'avantage principal de cette amplification est la très importante distance sur laquelle le signal sera amplifié de l'ordre de plusieurs centaines de kilomètres et peuvent varier de façon significative avec le débit.

Ce système est du plus grand intérêt dans les applications sous-marines, que ce soient des liaisons longues distances avec répéteurs ou des liaisons sans répéteur; on s'affranchira d'un grand nombre de composants électroniques actifs immergés. [18]

III-2-4-2-2) Utilisation de l'amplificateur optique :

C'est en fonction de son rôle que le choix d'un amplificateur optique doit se faire. Il peut servir d'amplificateur de puissance en émission (booster), de préamplificateur en réception ou d'amplificateur en ligne. Les paramètres diffèrent selon l'utilisation qui en est faite.

On exigera par exemple à un amplificateur de puissance d'être capable de délivrer une puissance de sortie élevée et de caractéristiques de bruit assez peu critiques, tandis qu'un préamplificateur doit être le moins bruyant possible. L'amplificateur en ligne sera un compromis pour ne pas dégrader la qualité du signal transmis et d'allonger la distance de transmission. [4]

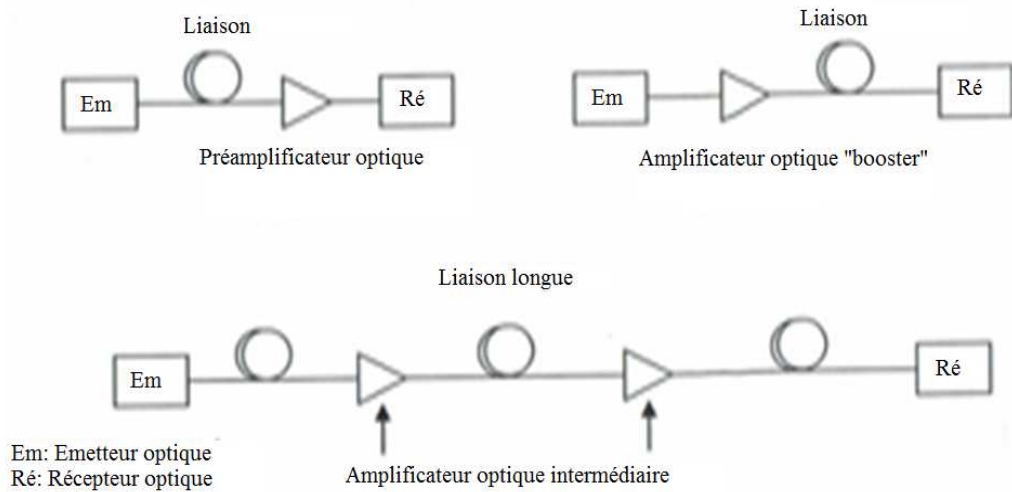


Figure III.11: Différents systèmes de transmission à amplification optique.

III-2-2) Récepteur optique:

L'interface optique de réception est chargée de convertir le signal lumineux en signal électrique, en lui apportant le minimum de dégradation. Ce rôle est tenu par le photodétecteur qui se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant, et qui doit satisfaire aux critères suivants:

- ❖ Sensibilité à la longueur d'onde voulue.
- ❖ Bonne efficacité de conversion de la lumière en signal électrique.
- ❖ Réponse rapide (large bande passante).
- ❖ Faible bruit.
- ❖ Petites dimensions.
- ❖ Consommation électrique modeste
- ❖ Durée de vie élevée
- ❖ Insensibilité aux variations de température.
- ❖ Coût modéré

Afin de satisfaire la plupart de ces conditions, le choix se porte sur les photodétecteurs à semi-conducteur (photodiodes). [4]

III-2-2-1) Principe de la photodétection:

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur, ils vont provoquer le passage d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction (seuls 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 (nommés P ou N).

Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photocourant. Le nombre de paires électron-trou est égal au nombre de photons absorbés. [4]

III-2-2-2) Types de photodiodes:

Il existe deux types de photodiodes:

III-2-2-2-1) Les photodiodes PIN:

Afin d'obtenir un bon rendement, on utilise une structure de diode PIN polarisée en inverse : les photons sont absorbés dans la zone intrinsèque (i) relativement épaisse qui, du fait de la polarisation, est vide de porteurs mobiles (zone de charge de l'espace); les électrons et les trous ainsi créés ont une faible probabilité d'être recombinaisonnés. Ils sont séparés par le champ électrique « E » qui règne dans la zone intrinsèque et qui les dirige vers les zones n et p où ils sont majoritaires.

La zone traversée par la lumière doit être de faible épaisseur, et protégée par une couche anti-reflet qui améliore le rendement externe et protège le matériau. [19]

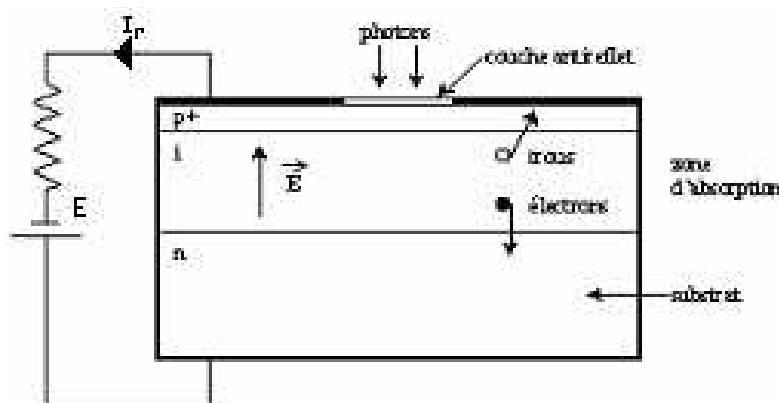


Figure III.12: Photodiode PIN.

III-2-2-2-2) Les photodiodes à avalanche :

Le signal reçu étant souvent très faible, il est alors nécessaire d'amplifier le photocourant. Le bruit du préamplificateur est en général prépondérant. On peut avoir intérêt à utiliser un composant à gain interne, la photodiode à avalanche "PDA".

Son principe est l'ionisation en chaîne, par impact des porteurs, sous l'effet d'un champ électrique très intense. C'est l'effet d'avalanche qui, s'il n'est pas contrôlé, aboutit au claquage de la jonction pour une tension inverse importante. Chaque porteur primaire va donner naissance à « m » porteurs secondaires. [20]

Ce champ électrique est obtenu, sous forte polarisation inverse, dans une jonction PN abrupte, en général séparée de la zone d'absorption, épaisse et peu dopée; utilisée surtout dans les PDA au silicium.

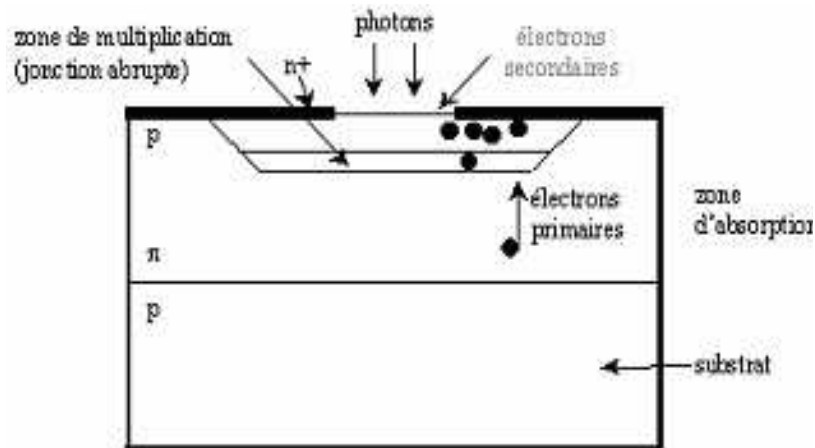


Figure III.13: Structure d'une photodiode à avalanche.

III-3) La technologie DWDM :

III-3-1) Principe:

La technologie WDM est dite DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) lorsqu'on regroupe plusieurs canaux de communications sur une même fibre optique, où l'espacement est égal ou inférieur à 0.8 nm (espace inter canaux), ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés. Des tests ont déjà été effectués avec des espacements de 0.4 et 0.2 nm.

Les systèmes commercialisés aujourd'hui proposent 4, 8, 16, 32, 80 et même 160 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal. Les débits atteints avec de tels systèmes sont de 10, 20, 40, 80, 200 et même 400 Gbit/s.

Un système à 16 canaux de 2.5 Gbit/s, soit 40 Gbit/s permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule paire de fibre optique. Il faut également s'attendre à un croisement du débit offert sur chaque canal qui pourrait rapidement atteindre 10 Gbit/s.

On peut véhiculer simultanément sur une même fibre optique, de la voix dans des trames SDH, de la vidéo dans des cellules ATM, des données dans des trames IP, etc. Le WDM est une technologie de transport indépendante des protocoles utilisés. Elle est donc capable de multiplexer sur une fibre optique ce que l'on sait faire transiter unitairement sur ce type média.

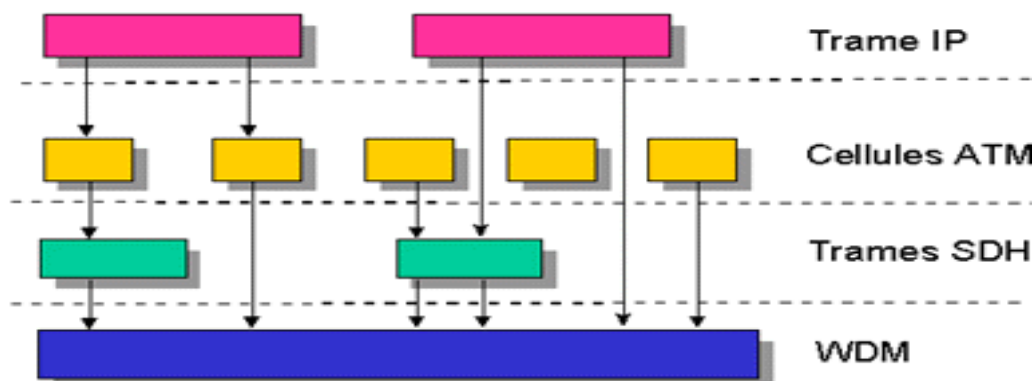


Figure III.14: Combinaison entre les différentes couches services et transports.

III-3-2) L'architecture de base d'un réseau DWDM:

Le réseau DWDM se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons aux fibres optiques. Les nœuds d'extrémités consistent en modulateur/démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi qu'en multiplexeurs et démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses et fréquences différentes.

Les modulateurs convertissent 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 longueurs d'onde.

Les multiplexeurs servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes à des fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux à des fins de commutation.

Le commutateur des longueurs d'ondes interconnecte les voies d'entrées aux voies de sorties voulues. Les convertisseurs de longueur d'onde ont pour fonction de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'ondes surexploitées en longueurs d'ondes disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies.

Le DWDM fonctionne généralement avec au moins 8 canaux de transmission. Il en existe également à 16, 40 voire beaucoup plus rarement 96 canaux. Avec les fibres préalablement existantes, il est possible de multiplier le débit par 17, voire par 42, sans avoir à investir lourdement dans de nouvelles infrastructures. [21]

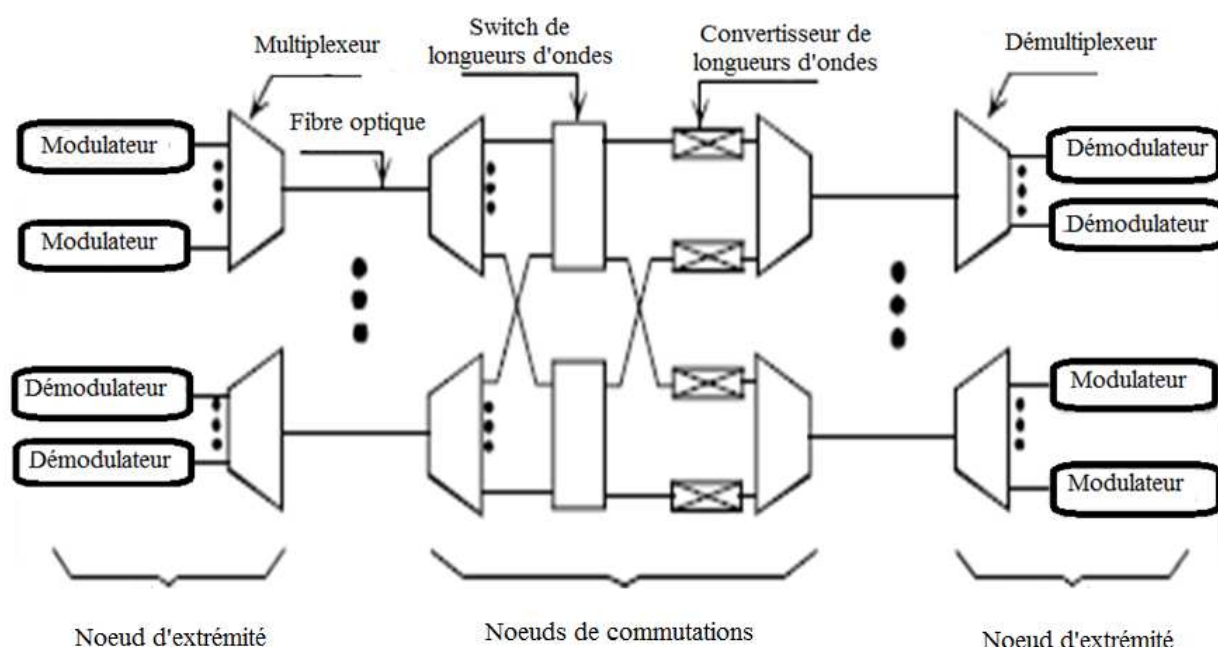


Figure III.15: Principales composantes d'un réseau DWDM.

III-3-3) Les types de multiplexage en longueur d'onde:

Les multiplexages optiques peuvent être classés en trois catégories principales selon la technique utilisée:

III-3-3-1) Multiplexage à filtre optique:

Ces composants optiques permettent la séparation spectrale en réfléchissant certaines gammes de longueurs d'onde et en transmettant les autres. Le but du filtrage en effet, est de limiter l'occupation spectrale d'un signal; tandis que le multiplexage optique regroupe les signaux occupant des gammes de longueurs d'onde différentes, alors que le démultiplexage (fonction réciproque) est de séparer des signaux occupant des bandes de longueurs d'onde différentes.

Un filtre est caractérisé par sa bande passante (domaine de longueurs d'onde dans lequel il laisse passer la lumière) et sa bande atténuée (domaine de longueurs d'onde dans lequel il réfléchit la lumière incidente). [17]

III-3-3-1-1) Les filtres dichroïques:

Ces dispositifs présentent un pic de réflexion à une longueur d'onde donnée. Il est possible d'accroître le domaine de réflexion en empilant de couches successives et d'obtenir ainsi des filtres passe haut et passe bas. Les filtres dichroïques sont donc constitués par un empilement des couches successives et d'obtenir ainsi des filtres passe haut et passe bas.

Les filtres dichroïques sont donc un empilement des couches diélectriques d'indices alternativement haut et bas. Le filtre est caractérisé par son coefficient de transmission T en bande passante, et son coefficient de réflexion R en bande atténuée. [17]

III-3-3-1-2) Les filtres Fabry-Perot:

Ils ont une caractéristique de transmission passe bas, ils présentent un pic de transmission étroit autour d'une longueur d'onde λ_0 et les deux domaines spectraux adjacents sont réfléchis.

Pour accroître la raideur du filtre, on peut répéter l'empilement pour un assemblage à deux ou trois cavités. Comme pour le filtre dichroïque, le coefficient de réflexion est supérieur à 99%, le coefficient de transmission peut atteindre 95%. [17]

III-3-3-2) Multiplexage à coupleurs sélectifs:

Le principe de ces composants est l'interaction cohérente entre deux guides optiques, ils sont appelés les coupleurs de puissance, qui sont utilisés pour additionner ou diviser les signaux optiques de différentes longueurs d'ondes. Ils sont plus utilisés dans les systèmes multiplexés.

Il existe plusieurs formes de coupleurs, telles que les coupleurs en X (2 : 2), les coupleurs en arbres, les coupleurs en étoile qui disposent de N entrées et de N sorties, les coupleurs séries qui disposent de deux entrées et une sortie et inversement, les coupleurs en T et les coupleurs en Y.

III-3-3-3) Multiplexage à Réseau de Diffraction:

Le réseau à l'avantage de traiter simultanément un grand nombre de voies à l'intérieur de la même fenêtre. Il se compose d'une surface optique qui transmet ou réfléchit la lumière et sur laquelle un grand nombre de traits sont gravés au diamant.

Le réseau a la propriété de renvoyer, séparer angulairement, les différentes longueurs d'ondes contenues dans un même faisceau incident.

En vertu du principe de retour inverse de la lumière, le réseau peut combiner dans une même direction des faisceaux incidents séparés angulairement et des longueurs d'onde adéquates. [22]

III-3-4) Les différents composants d'un système DWDM:

La structure générale d'un système DWDM à N-trajectoire de longueurs d'ondes se compose de deux multiplexeurs terminaux optiques OTM (Optical Terminal Multiplexer) et d'un amplificateur optique en ligne OLA (Optical Line Amplifier).

III-3-4-1) Multiplexeur terminal optique OTM:

C'est un équipement de base pour la conception d'un système WDM. Installé aux extrémités des fibres optiques, ils permettent de rassembler/dissocier les différentes longueurs d'onde.

Les OTMs sont utilisés à l'entrée du réseau WDM où ils assurent l'accès pour les signaux provenant des autres réseaux clients.

A l'émission, l'OTM reçoit les signaux STM-n de n longueurs d'onde ($\lambda_1 \dots \lambda_n$) à partir d'un équipement client (ex: équipement SDH), les convertit, les multiplexe, les amplifie, les ajoute au canal de supervision puis les envoie sur la fibre optique.

A la réception, l'OTM traite d'abord le canal de supervision λ_s ensuite démultiplie les n signaux dans des canaux individuels et les distribue à l'équipement client correspondant.

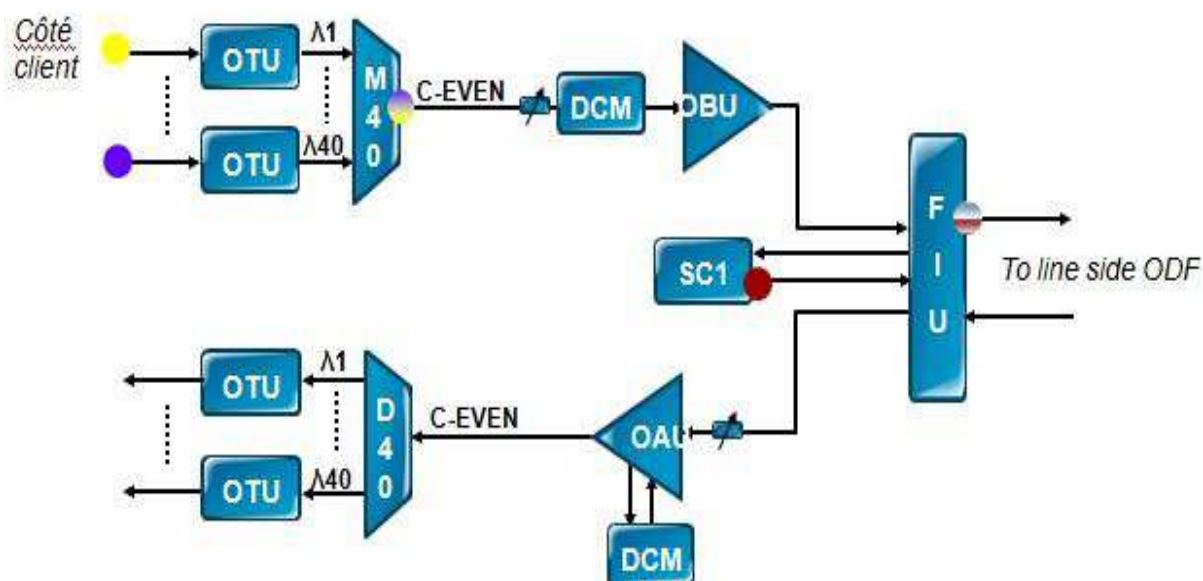


Figure III.16: Le Schéma de l'OTM.

III-3-4-2) Amplificateur de ligne optique (OLA):

L'amplificateur OLA est utilisé sur la ligne pour compenser l'atténuation du signal et sa dispersion. Du côté de réception la FIU sépare le canal principal du canal de supervision puis amplifie le signal dégradé et compense la dispersion avec le DCM.

Du côté de l'émission le signal amplifié est multiplexé avec le signal de supervision via le FIU puis remis sur la fibre de transmission. [24]

La figure III.3 ci-dessous montre le schéma de l'OLA.

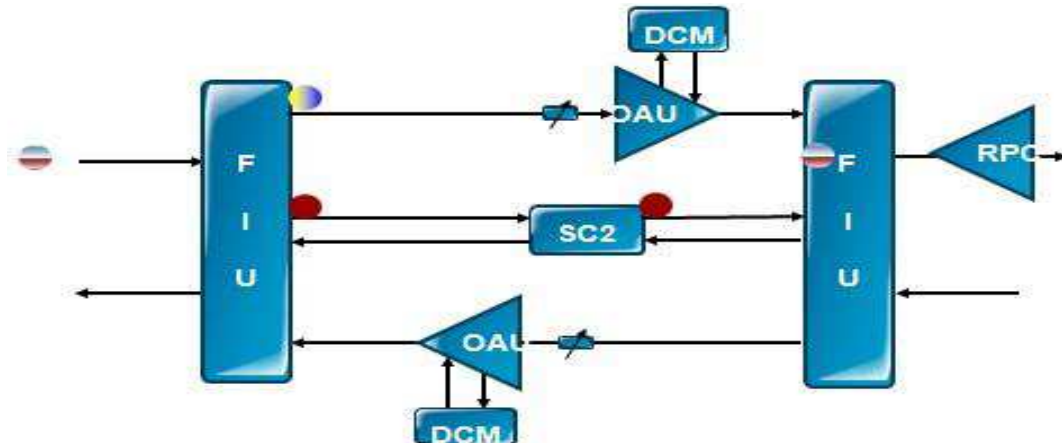


Figure III.17: Le schéma de l'OLA.

- Les composants OTM et OLA qui se divisent en unités suivantes:
- ❖ **Unité de conversion de longueur d'onde optique (OTU):** sa fonction principale est de mettre en application la conversion de longueurs d'ondes sur les cotés émetteur et récepteur, tel que les signaux optiques satisfaisant la recommandation.
- ❖ **Unité de démultiplexage optique / Unité de multiplexage optique (ODU/OMU).**
- ❖ **Amplificateur optique (OA):** Selon les différentes fonctions et positions dans le système, il existe trois types d'amplificateurs, l'amplificateur de ligne optique (OLA), l'amplificateur booster optique (OBA), et le préamplificateur optique (OPA).
- ❖ **Canal de surveillance Optique (OSC):** Il accomplit principalement la transmission et la réception optique bidirectionnelle d'information de surveillance.

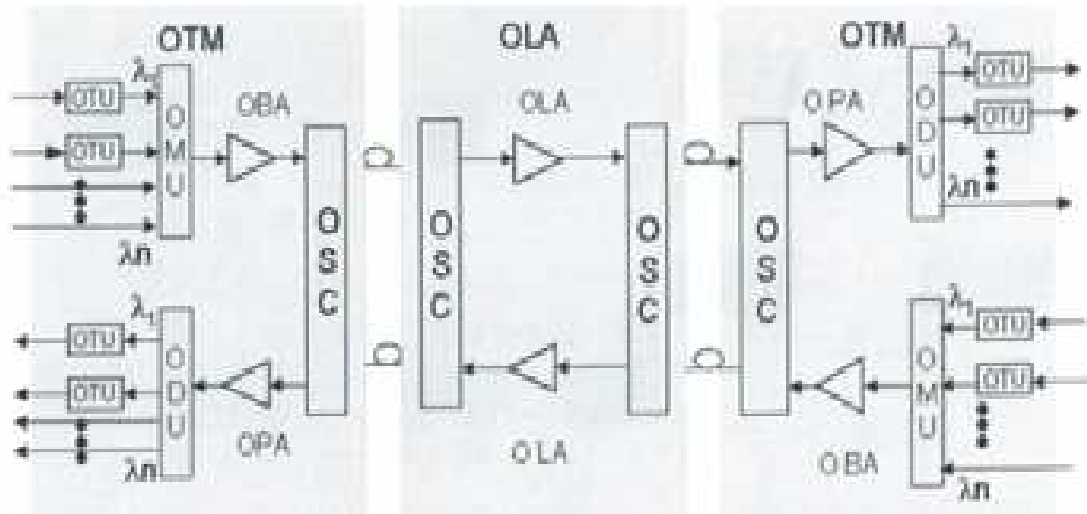


Figure III.18: Architecture de base d'un système DWDM.

III-3-4-3) Les multiplexeurs à insertion /extraction optique (OADM):

Ces équipements sont utilisés pour insérer (à l'origine) et extraire (à la destination) une ou plusieurs longueurs d'onde sur une liaison WDM acheminant une pluralité de canaux optiques ayant des longueurs d'onde différentes.

III-3-4-3-1) Principe:

Le module optique d'insertion extraction contient un démultiplexeur pour séparer les différentes longueurs d'onde et un commutateur optique OXC (Optical Cross – Connect) qui échange le signal de porteuse et un multiplexeur qui combine les différentes longueurs d'ondes sur une seule fibre optique.

Le signal de porteuse provenant du démultiplexeur passe à travers le commutateur optique et ensuite il est transféré vers le port d'extraction, simultanément un nouveau signal est introduit par le port d'insertion du commutateur.

Dans le schéma ci-dessous, on a représenté 3 canaux de commutateurs 2*2 (deux entrées et deux sorties).

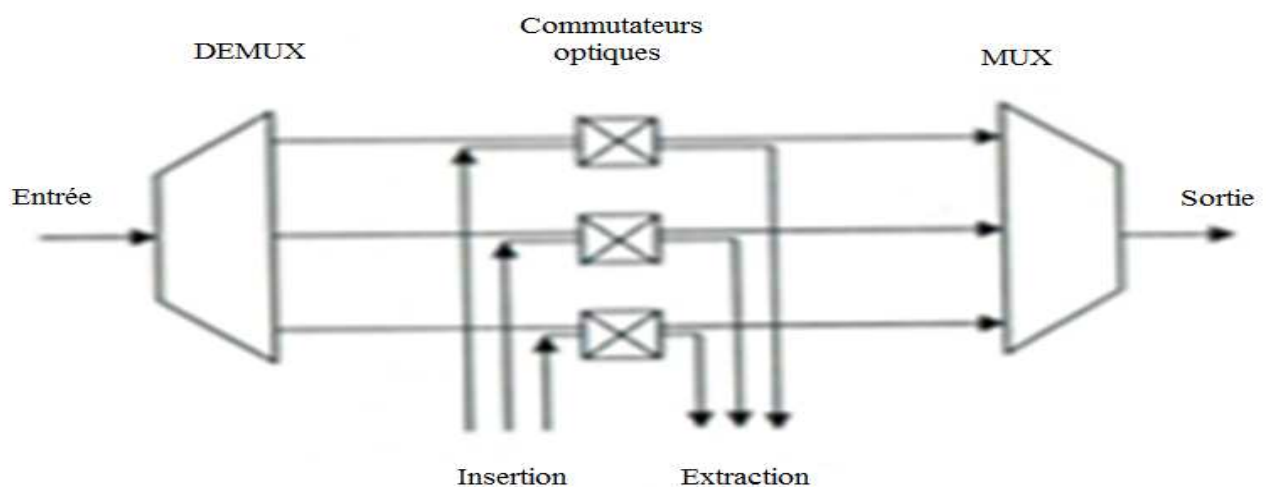


Figure III.19: Représentation schématique d'un OADM.

III-3-4-3-2) Les types d'OADM:

On distingue deux types:

III-3-4-3-2-1) FOADM (multiplexeur à insertion /extraction optique fixe):

Il représente la première génération de multiplexeurs à Insertion/Extraction Optique. Les longueurs d'ondes à insérer/extraire étaient fixe pour un OADM fixé.

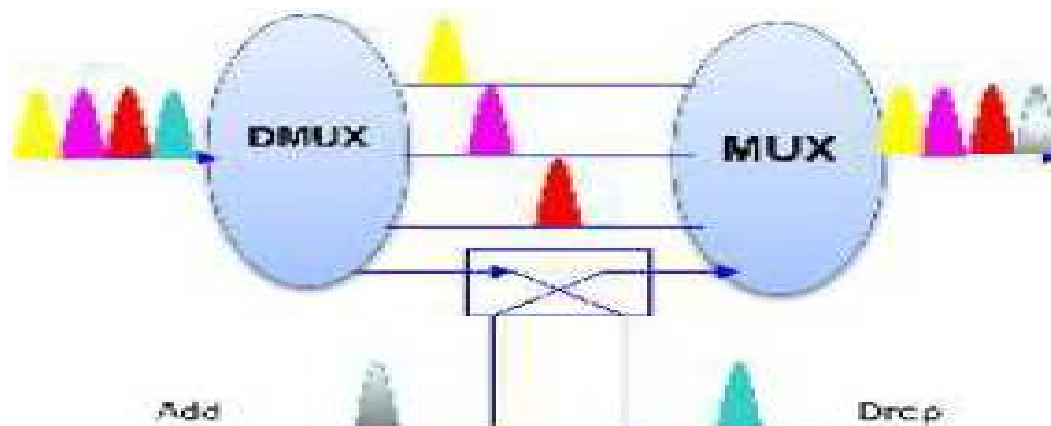


Figure III.20: OADM fixe.

III-3-4-3-2-2) Multiplexeur à insertion/extraction optique ré-configurable ROADM:

A l'inverse des OADM statiques, les OADM dynamiques peuvent reconfigurer plusieurs longueurs d'onde, transportant des signaux clients, sans la nécessité de convertir les signaux sur tous les canaux WDM en des signaux électriques.

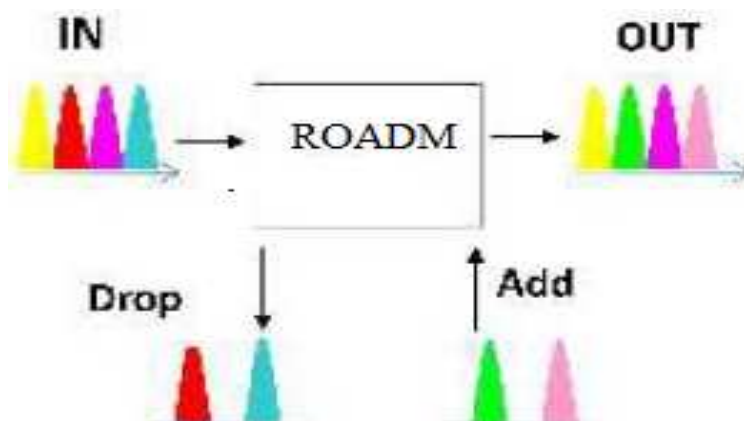


Figure III.21: OADM Dynamique.

III-3-5) Aperçu sur les réseaux multicouches: dans des réseaux IP/MPLS sur OTN (DWDM):

Pour des raisons historiques de standardisation, les réseaux de télécommunications ont une architecture en plusieurs couches technologiques. Chaque couche a une fonction particulière et offre un service à la couche sus-jacente en utilisant la couche sous-jacente. Le modèle de référence OSI (Open System Interconnexion) de l'ISO (International Standardisation Organisation) représente le modèle d'architecture en sept couches qui permet de définir toutes les fonctions assurant le fonctionnement d'un réseau et les principes d'interconnexion entre les

couches. Il reste toutefois un modèle théorique car dans la pratique une couche peut assurer plusieurs fonctionnalités.

Les architectures les plus courantes associent les fonctionnalités de différents protocoles. Nous citons à titre d'exemple les architectures basées sur une couche de transport optique tel que IP sur ATM sur SDH, IP/MPLS sur SDH sur DWDM, IP/MPLS sur OTN sur DWDM, IP/MPLS sur DWDM, etc. Notre étude considère le cas des réseaux de nouvelle génération IP/MPLS sur OTN sur DWDM.

Cette étude est principalement motivée par l'apparition de la nouvelle technologie OTN (Optical Transport Network), qui est entrain de devenir de plus en plus prometteuse pour les réseaux de transport de nouvelle génération grâce à ses grandes capacités de transmission et sa gestion efficace des réseaux optiques.

Le niveau IP combiné avec MPLS (Multi-Protocol Label Switching) gère la qualité de service et l'ingénierie de trafic avec beaucoup plus de flexibilité que les solutions antérieures comme ATM (Asynchronous Transfert Mode). Cependant, la couche OTN gère le transport des flux MPLS sur le réseau optique WDM. Ce modèle d'architecture représente le fruit d'une évolution technologique progressive et est très intéressant pour les opérateurs.

D'une part, l'utilisation de la couche OTN avec DWDM permet de suivre la croissance continue du trafic Internet en exploitant les infrastructures optiques déjà existantes. D'autre part, depuis que les différents types de trafics (voix, données, vidéo,...) ont convergé sur un même support physique, la majorité du trafic devient de type IP/MPLS.

Après avoir introduit la technologie WDM, nous décrivons dans ce qui suit les principaux aspects technologiques relatifs aux couches MPLS et OTN, et nous donnons un aperçu sur le problème d'allocation de ressources multicouches dans le cas des réseaux IP/MPLS sur OTN sur DWDM.

III-3-5-1) La technologie MPLS:

A l'origine, MPLS a été conçu pour améliorer l'efficacité du traitement des paquets dans les routeurs. Au lieu d'être analysés à chaque routeur traversé, les paquets sont analysés une seule fois à l'entrée du réseau et acheminés sur une route prédéfinie grâce à un système d'étiquettes. Le protocole MPLS se base sur ce paradigme de commutation d'étiquettes (labels). Contrairement à IP, MPLS permet de séparer les fonctions de routage et d'acheminement de paquets. L'idée de MPLS est de rajouter un label de couche 2 aux paquets IP dans les routeurs frontières d'entrée du réseau. Le réseau MPLS va pouvoir alors créer des chemins virtuels ou LSP (Label Switching Path).

Ces LSP définissent une route de bout en bout par une concaténation de labels. A l'entrée du réseau MPLS, le label est rajouté à l'entête IP par le routeur frontière LER (Label Edge Routers) puis il est retiré par un autre routeur frontière à la sortie du réseau MPLS, ce qui

permet de retrouver le paquet IP original. Les routeurs du cœur de réseau, appelés LSR (Label Switching Routers), routent les paquets de proche en proche par commutation de labels, sans utiliser les adresses IP.

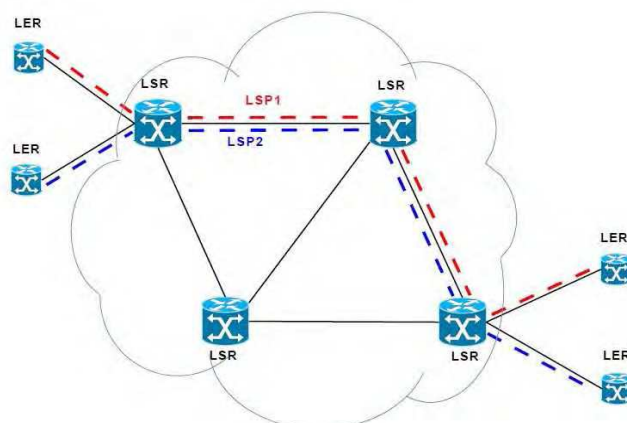


Figure III.22: Réseau MPLS.

L'avantage majeur du protocole MPLS est qu'il permet un routage particulier pour chacun des LSP, appelés aussi tunnels MPLS, et donc permet d'associer un chemin (qui peut être différent du plus court chemin) à chaque groupe de flots considéré. La granularité du choix des routes est donc améliorée, ce qui permet une meilleure gestion de la QoS et surtout une ingénierie de trafic plus aisée. Mais les avantages de MPLS ne s'arrêtent pas à ces améliorations, MPLS permet aussi la création de réseaux privés virtuels VPN (Virtual Private Network) et est interopérable avec n'importe quelle couche de niveau 2. Il est possible aussi d'employer un réseau IP/MPLS sur des infrastructures sous-jacentes hétérogènes (SDH, Ethernet, ATM, WDM,...).

III-3-5-2) La technologie OTN:

Les réseaux SDH (ou SONET) traditionnels offrent des capacités de transmission qui peuvent aller jusqu'à 40 Gbps dans le cas d'une liaison STM-256. Cette capacité devient de plus en plus insuffisante et incapable de satisfaire les besoins des utilisateurs surtout avec l'apparition de services large-bande (broadband) tel que 10-Gigabit Ethernet et 40-Gigabit Ethernet. La technique WDM, quant à elle, est principalement conçue pour mieux exploiter la bande passante des fibres optiques et offrir des capacités de transmission suffisantes pour les services large-bande. Toutefois, elle reste liée à la couche optique et ne permet pas de structurer le transport numérique des services dans le réseau comme le fait SDH grâce à sa hiérarchie de conteneurs VC.

La technologie OTN (Optical Transport Network) est une solution qui combine les avantages de SDH et WDM dans les réseaux de transport optiques de nouvelle génération.

OTN, définie par la norme UIT G.709, met en place une hiérarchie d'encapsulation qui permet de supporter et transporter des signaux clients à différents débits et provenant de diverses technologies (notamment IP/MPLS, Ethernet, ATM, SDH/SONET,...).

La Figure III.23 illustre la hiérarchie OTN et montre les différentes couches (numériques et optiques) définies par le standard UIT G.709.

La hiérarchie OTN définit les couches suivantes:

- L'unité de charge utile optique OPUk qui représente l'interface entre le signal client et le réseau OTN. Elle est composée du trafic client et d'un entête nécessaire pour effectuer une adaptation entre le débit de signal client et le débit de charge utile d'unité OPUk. Les capacités OPUk sont définies pour $k = 1, 2, 3, 4$.

- L'unité de données optiques ODUk qui représente le conteneur numérique de données, similaire au conteneur VC-n dans le standard SDH. Elle contient la charge utile OPUk et une entête contenant les informations de suivi de connexion tandem TCM (Tandem Connection Monitoring),

nécessaires dans le cas où le signal client traverse des infrastructures de plusieurs opérateurs,

- L'unité de transport optique OTUk qui représente la trame de transport dans les réseaux OTN similaires à la trame STM-N dans le standard SDH. Elle est composée de la charge utile ODUk et d'un entête contenant les informations de début de trame et les informations FEC pour la correction d'erreurs sur la ligne de transmission. Les capacités nominales des trames OTUk sont 2,5 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps et 100 Gbps respectivement pour $k = 1, 2, 3, 4$.

La trame OTU est aussi appelée enveloppe numérique ("digital wrapper" en anglais), car elle encapsule toute l'information numérique avant la conversion optique

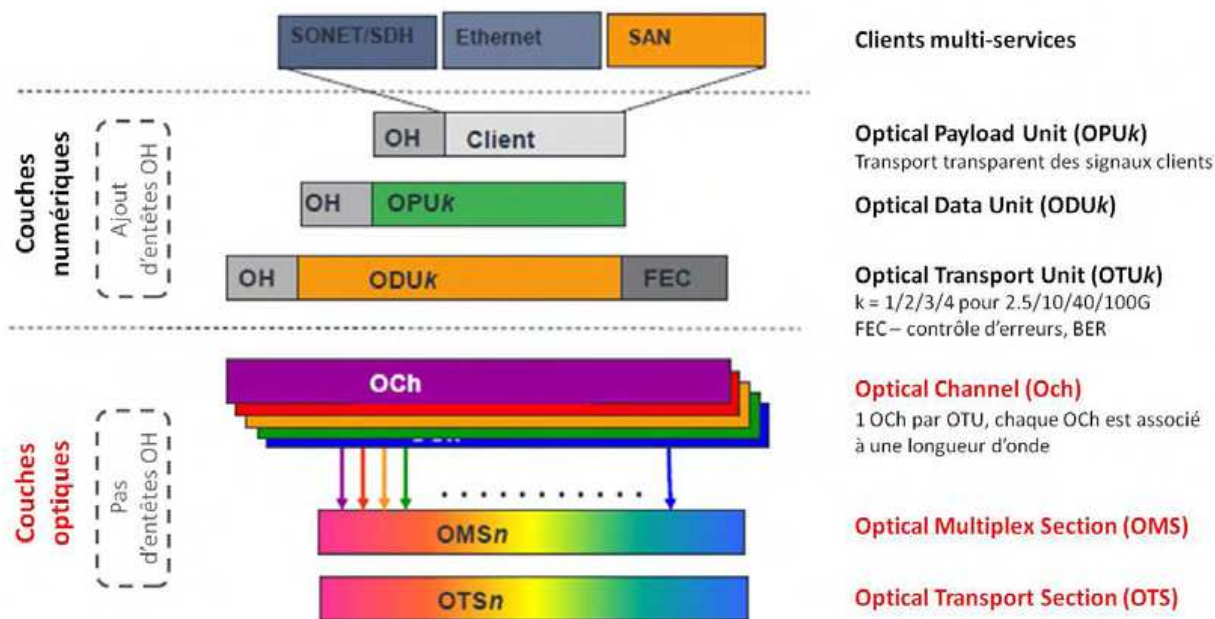


Figure III. 23: La hiérarchie OTN.

- Le canal optique OCh est obtenu en effectuant la conversion électrique-optique de la trame OTUk. Chaque OCh, transportant un OTUk, est associé à une longueur d'onde de la grille ITU (International Télécommunication Union).

- La section de multiplex optique OMS assure la combinaison de multiples longueurs d'onde (canaux OCh) sur une même fibre optique avant leur transmission sur la ligne WDM. Chaque canal correspond à une longueur d'onde ITU. Les extrémités d'une section OMS sont généralement des multiplexeurs terminaux, des multiplexeurs d'insertion extraction OADM ou des brasseurs OXC.

- La section de transport optique OTS garantit le transport de multiples longueurs d'onde sur le même support physique (fibre optique). Signalons que l'entête d'OTS, ainsi que les entêtes associés aux autres couches optiques OMS et OCh, sont transportés par un canal de supervision optique OSC (Optical Supervisory Channel) occupant une longueur d'onde en dehors de la grille ITU. En se basant sur cette architecture en couches, OTN définit une structure de multiplexage flexible utilisant la notion de conteneurs et basée sur la technique de multiplexage temporelle TDM.

Le multiplexage de signaux clients à faible débit dans des signaux à haut débit permet la création de conteneurs plus grands qui profitent de la capacité maximale des canaux optiques (longueurs d'onde). Le conteneur ODU-0 représente l'unité de base dans la structure de multiplexage OTN. Les débits des différents conteneurs OTN sont illustrés dans le Tableau III.24.

| Conteneur OTN | Débit nominal |
|---------------|---------------|
| ODU-0 | 1,25 Gbps |
| ODU-1 | 2,5 Gbps |
| ODU-2/ODU-2e | 10 Gbps |
| ODU-3 | 40 Gbps |
| ODU-4 | 100 Gbps |
| ODU-Flex | N x 1,25 Gbps |

Tableau III.24: Les débits des conteneurs OTN.

Contrairement au multiplexage SDH qui manipule des conteneurs granulaires de l'ordre du Mbps (VC-12/3/4), le multiplexage OTN gère des conteneurs granulaires de l'ordre du Gbps. Il existe aussi des conteneurs flexibles qui peuvent s'adapter à n'importe quel débit d'un signal client. En effet, lorsqu'un signal client ne correspond pas exactement à un ODUk standardisé (ODU-0/1/2/3/4), il peut être mappé dans un certain nombre de slots à 1,25 Gbps dans le domaine ODU, formant ainsi un Conteneur appelé ODU-Flex. Cette technique élimine la possibilité d'avoir des conteneurs ODUk sous-utilisés et évite toute perte significative de la

bande passante. Le concept d'ODU-Flex est principalement mis en place pour supporter les futurs signaux clients dont nous ne connaissons pas encore leurs débits. La Figure III.23 montre les différentes possibilités de multiplexage de conteneurs ODUk dans la hiérarchie OTN. Il est par exemple possible de multiplexer deux ODU0 dans un ODU1, quatre ODU1 dans un ODU2, quatre ODU2 dans un ODU3, deux ODU3 dans un ODU4, quatre-vingts ODU0 dans un ODU4, etc.

Les conteneurs ODUk représentent les entités gérés dans les réseaux OTN et sont considérés comme des ressources de transmission non seulement pour les trafics d'origine OTN mais aussi pour les trafics provenant des couches clientes de OTN (tunnels LSP, trames Ethernet, trames STM,...). La technologie OTN est généralement déployée sur des infrastructures optiques où elle procure une utilisation efficace de la capacité d'une fibre en combinant TDM et WDM. TDM assure l'agrégation des flux multiservices à bas débit dans des flux à haut débit sur une seule longueur d'onde, tandis que WDM permet d'utiliser efficacement le spectre de fréquences dans une fibre optique pour transporter plusieurs longueurs d'onde simultanément.

III-3-6) Les brasseurs optique:

Le brasseur permet à un message arrivant sur un port d'entrée du démultiplexeur d'être routé vers un autre port de port de sortie du multiplexeur sur la même longueur d'onde.

On peut définir trois types de brasseurs, qui sont différenciés selon leur configuration interne.

Dans ces brasseurs on utilise la même longueur d'onde de bout en bout, il n'est y'a pas de réallocation des longueurs d'ondes.

III-3-6-1) Brasseur passifs fixe (brasseur à fibre):

Dans un brasseur fixe les connections sont permanentes elles contiennent des démultiplexeur 1 : N et des multiplexeurs N : 1, plus des connecteurs entre les composants.

III-3-6-2) Brasseurs dynamiques:

Les brasseurs dynamiques contiennent des démultiplexeurs 1 : N pour séparer les différentes longueurs d'ondes de chaque signal de sortie et des matrices des commutateurs optiques pour chaque longueur d'onde pour le routage des signaux.

Dans un brasseur dynamique, des commutateurs optiques sont introduit afin qu'un message arrivant sur un port d'entrée puisse être routé vers n'importe quelle sortie, mais sur la même longueur d'onde.

III-3-6-3) Brasseur actif:

Les anneaux optiques peuvent utiliser plusieurs longueurs d'ondes. Il contient des démultiplexeurs 1 : N, des multiplexeurs N : 1, plus des commutateurs optique et des convertisseurs.

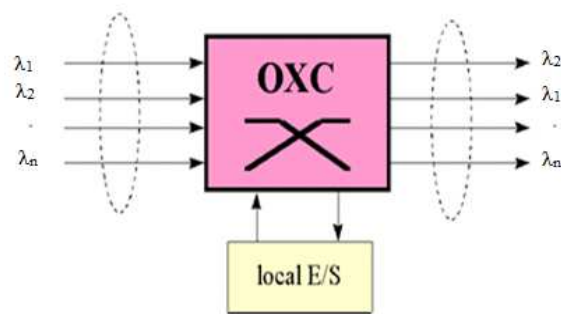


Figure III.25: Le brasseur optique.

III-3-7) Commutation / routage DWDM:

Le Réseau DWDM point à point consiste en une opération par diffusion et sélection dans laquelle chaque utilisateur du réseau transmet son signal à un coupleur en étoile, d'abord utilisé pour répartir ces signaux vers tous les autres nœuds du réseau de manière passive.

Il faut utiliser un protocole d'accès au support pour contrôler les transmissions aux divers nœuds du réseau afin d'éviter les collisions et de gérer les conflits dans la largeur de bande.

Ce type de réseau pourrait s'avérer attrayant par sa simplicité et sa performance puisqu'il ne comporte ni commutateur ni routeur; par contre, comme il existe une relation linéaire entre le nombre de nœuds et le nombre de longueurs d'onde, un tel réseau ne peut évoluer que pour comporter une multitude de nœuds. [23]

Ce commutateur d'interconnexion DWDM et le multiplexeur à insertion- extraction qui y est associé; tire toute son importance du fait qu'il permet la reconfiguration du réseau optique par longueur d'onde, de manière à optimiser le trafic, l'encombrement, la croissance et la pérennité du réseau.

Il permet en outre de configurer des circuits spéciaux en vue de la transmission de signaux sous une autre forme. Le commutateur-multiplexeur DWDM constitue l'élément transparent de la transmission par sélection de longueurs d'onde qui s'avère essentiel à la création de réseaux à longueurs d'onde multiples.

III-4) Etude des réseaux DWDM :

III-4-1) Topologie d'un réseau DWDM :

III-4-1-1) Topologie point à point :

Dans cette application standard, les canaux de données sont transmis parallèlement entre 2 sites. Des multiplexeurs / Démultiplexeurs standards aux extrémités fédèrent puis séparent optiquement les anneaux. Des distances jusqu'à 80 km peuvent être parcourues.



Figure III.26: Topologie point à point d'un réseau DWDM.

III-4-1-2) Topologie linéaire insertion-extraction:

Dans un tel cas, il s'agit d'une topologie point à point plus élaborée. Selon la configuration réalisée, on peut ainsi insérer ou extraire à son gré des canaux de transmission entre deux nœuds du réseau. Aux extrémités sont installés comme précédemment des multiplexeurs / démultiplexeurs standards.

Lors de la planification, il est très important de considérer la taille totale du réseau et surtout que chaque add-drop multiplexeur induit une atténuation d'insertion, qui réduit d'autant la longueur totale du réseau.



Figure III.27: Topologie linéaire insertion-extraction d'un réseau DWDM.

III-4-1-3) Topologie anneau :

La réalisation de réseaux en forme d'anneau est particulièrement appréciée dans le secteur des télécommunications, car elle garantit une haute sécurité tout en maintenant la longueur de fibre nécessaire.

Dans une telle topologie en cas de panne en un point de l'anneau, le trafic de données demeure assuré entre chaque nœud. Des multiplexeurs add-drop optiques à chaque nœud sont nécessaires à la construction de réseaux en anneau. On peut ainsi introduire à son gré des canaux entre deux nœuds de l'anneau.

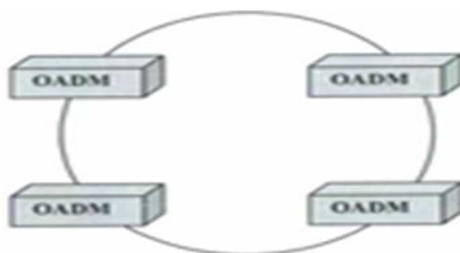


Figure III.28: Topologie en anneau d'un réseau DWDM.

III-4-2) Les systèmes de protection dans les réseaux optique DWDM:

La sécurisation par protection des liaisons consiste à réserver pour chaque liaison optique, une liaison de secours, et ce dernier est exclusivement dédiée à cet usage.

La perte du signal de trame, la détection d'un taux d'erreurs anormalement élevé ou des signaux d'alarmes feront basculer le trafic sur la liaison de secours.

Le trafic revient sur la liaison de base dès qu'un transport fiable peut de nouveau être assuré. Dans cette partie nous présenterons les différents systèmes de protections:

III-4-2-1) Système de protection 1 + 1:

Le Système de protection 1 + 1 permet d'éviter toute interruption du trafic, elle consiste à établir pour chaque nœud dans le réseau deux canaux différents; l'un est utilisé comme chemin de travail et l'autre comme chemin de protection.

III-4-2-2) Système de protection 1 : 1:

Dans le système de protection 1 : 1, si un canal de communication est interrompu par une panne, alors le trafic est automatiquement basculé sur le canal de protection associé. Chaque canal de protection est dédié à un canal de travail, le temps de basculement est faible (50 μ s) et donc la durée de l'interruption du trafic est également faible.

III-4-2-3) Système de protection M : N:

Une liaison unitaire d'un nœud vers un nœud y dans un réseau DWDM correspond à l'établissement d'un chemin emprunté.

La protection 1 : 1 est une méthode simple et automatique pour la protection d'une liaison, toutefois lorsque N et M sont supérieurs à 1, il faudra trouver M chemin de protection pour N chemin de travail. Lorsque M = 1 un seul chemin de protection pour N chemin de travail.

III-5) Conclusion:

Aujourd'hui, l'essor de l'Internet est tel que l'évolution des systèmes de télécommunications, il tend toujours vers une augmentation des capacités de transmission.

La technique de multiplexage en longueur d'onde a apporté la solution à cette demande en répondant à la croissance du trafic attendue en offrant des capacités de transmission avec une qualité parfaite et une rapidité de transmission.

Cette technique est un outil intéressant pour repenser totalement à la structure des réseaux, et à les adapter à la diversification des services. Les architectures et protocoles de réseau actuels auront un rôle à jouer dans la structure à venir des réseaux DWDM pour l'améliorer et avancer vers une nouvelle technologie tel que UWDM (Ultra - Wavelength Division Multiplexing).

En effet la technologie SONET pourrait fort bien constituer la première structure de réseau entièrement optique, bien que l'ATM perde de la popularité parce qu'elle ne parvient pas à s'imposer. Par contre le mode de transfert DWDM pourrait susciter un regain d'intérêt dans le contexte des réseaux à intégration de services.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation et à la description des différents dispositifs qui parviennent à former l'équipement de transmission DWDM pour faire l'acheminement du trafic d'un réseau à un autre réseau.

IV-1) Introduction:

L'architecture de réseau se distingue de l'organisation de réseau en ce sens que les ressources utilisables sont désormais limitées à celles présentes dans le réseau. Ces ressources sont en nombre limité et sont situées à des emplacements solides. Le réseau se distingue aussi du trafic dans la mesure où les demandes à traiter sont connues à l'avance. L'ingénierie de réseau consiste donc à trouver une configuration et une utilisation efficaces des ressources et conduit en général à des problèmes d'optimisation globale. Pour cela on a choisi l'équipementier chinois «Huawei» afin d'aborder un dimensionnement d'un réseau métropolitain de transport optique.

Dans ce chapitre on nous allons faire connaissance des équipements utilisés pour la transmission optique DWDM dans la topologie en anneau.

IV-2) Aperçu de la société Huawei:

Huawei est une entreprise fondée en 1987, dont le siège social se trouve à Shenzhen en Chine et qui fournit des solutions dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle fournit des matériels, des logiciels et des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises, il est parmi les cinq premiers équipementiers à l'échelle mondiale.

Un des principaux fournisseurs sur le marché optique globale, solution optique de Huawei inclut un ensemble complet des nanomètres et de quatre produits de série, solution de DWDM, solution SDH, solution optique intelligente de transmission et solution de SONET.

Aujourd'hui, Huawei est un fournisseur de solutions numériques en terminaux et réseaux pour les opérateurs, entreprises et consommateurs.

IV-2-1) Description de l'équipement Huawei:

Huawei fournira à Algérie télécom sa plateforme OSN 8800. Celle-ci intègre les technologies optiques les plus récentes dont le multiplexage optique reconfigurable à plusieurs degrés ROADM, les lasers réglables, et des commutateurs OTN (Optical transport Network) une technologie permettant la commutation et l'agrégation des données au niveau électriques et optiques. Cette solution réseau supporte les longueurs d'onde à 10/40G et supportera le 100G afin de permettre la fourniture de services haut débit avancés.

L'OSN 8800 constitue une plateforme de transport WDM administrable et flexible basée sur les architectures OTN (Optical transport Network, réseau de transport optique) et ASON (Automatically Switched Optical Network, réseau optique à commutation automatique). Ce système utilise des technologies avancées permettant aux opérateurs de construire un réseau de transport flexible supportant IP et Ethernet et permettant des évolutions à moindre coût.

Cette solution aide les opérateurs à absorber des trafics réseau en croissance rapide, ainsi qu'à répondre aux défis de l'extension de leurs réseaux, grâce à une plateforme agnostique hautement évolutive. L'OSN 8800 a été déployé avec succès au cœur des réseaux d'opérateurs de premier plan.

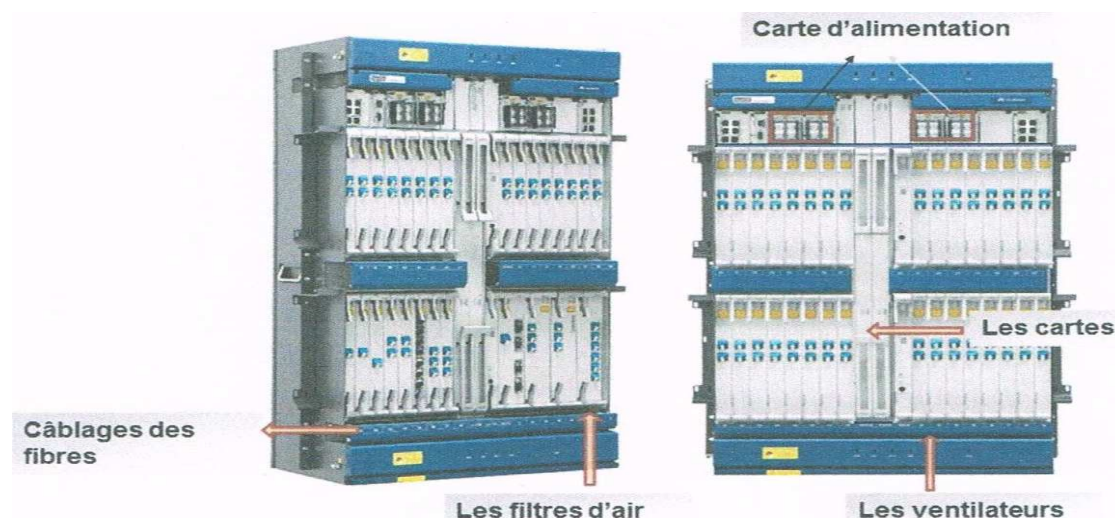


Figure IV.01: Structure d'équipements Huawei OSN 8800.

IV-2-2) Type de service:

Pour chaque type de service, il faut savoir choisir le type de la carte utilisée, le tableau suivant illustre les différents types de service:

| Catégorie de service | Type de service |
|----------------------|---------------------------------------|
| SDH/ATM | STM-1, STM-4, STM-16, STM-64, STM-256 |
| SONET | OC-3, OC-12, OC-48, OC-192, OC-768. |
| Ethernet | FE, GE, 10GE WAN, 10GE LAN. |
| OTN | OTU1, OTU2, OTU3. |
| Vidéo | HD-SDI, DVB-ASI, SDI, FDDI. |

Tableau IV.02: Les différents types de services.

SDI: serial digital interface.

ASI: Interface Sérielle Asynchrone.

DVB: Digital Video Broadcasting.

FDDI: Fiber Distributed Data Interface.

IV-3) Architecture de réseau:

Dans le cadre de ce travail nous allons simuler un réseau en anneau formé de 4 éléments (NE) DWDM de type OSN 8800 T32.

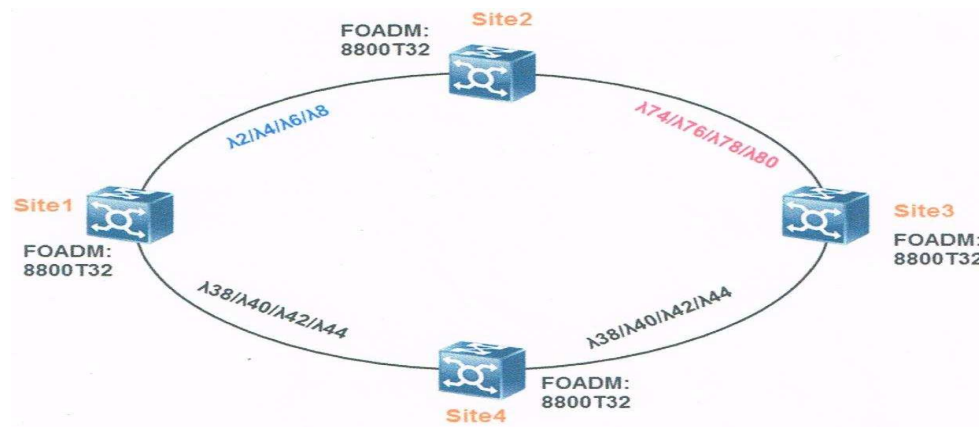


Figure IV.03: Réseau en anneau DWDM.

IV-3-1) Allocation de longueur d'ondes:

| | SITE1 | SITE2 | SITE3 | SITE4 | SITE1 |
|----------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| λ2 (196.0Thz) | ●—————● | | | | |
| λ4 (195.8Thz) | ●—————● | | | | |
| λ6 (195.7Thz) | ●—————● | | | | |
| λ8 (195.7Thz) | ●—————● | | | | |
| λ74 (192.4Thz) | | ●—————● | | | |
| λ76 (192.3Thz) | | ●—————● | | | |
| λ78 (192.2Thz) | | ●—————● | | | |
| λ80 (192.1Thz) | | ●—————● | | | |
| λ38 (194.2Thz) | | | ●—————● | | ●—————● |
| λ40 (194.1Thz) | | | ●—————● | | ●—————● |
| λ42 (194.0Thz) | | | ●—————● | | ●—————● |
| λ44 (193.9Thz) | | | ●—————● | | ●—————● |

Tableau IV.04: Allocation des longueurs d'ondes.

IV-3-2) Création d'un réseau DWDM:

Création d'un réseau DWDM en utilisant le gestionnaire de réseau Huawei : U2000-LCT:

IV-4-2-1) Description du logiciel U2000:

Huawei propose un système de gestion puissant OptiX iManager U2000 pour la gestion des équipements. C'est un système intégré de gestion de réseau pour les réseaux de transmissions (SDH, WDM, RTN (FH), système de câble sous-marin, Ethernet, ATM, etc...),

et aussi les réseaux de données (commutateurs, routeurs, etc...) et réseau d'accès MSAN, DSLAM, etc...). C'est un système de haute sécurité, il est commode pour installation automatique et la mise à niveau du client, avec une haute force du système. Et aussi un système de gestion qui peut gérer plus de 20.000 équipements WDM en même temps.

IV-3-2-2) Présentation du logiciel U2000:

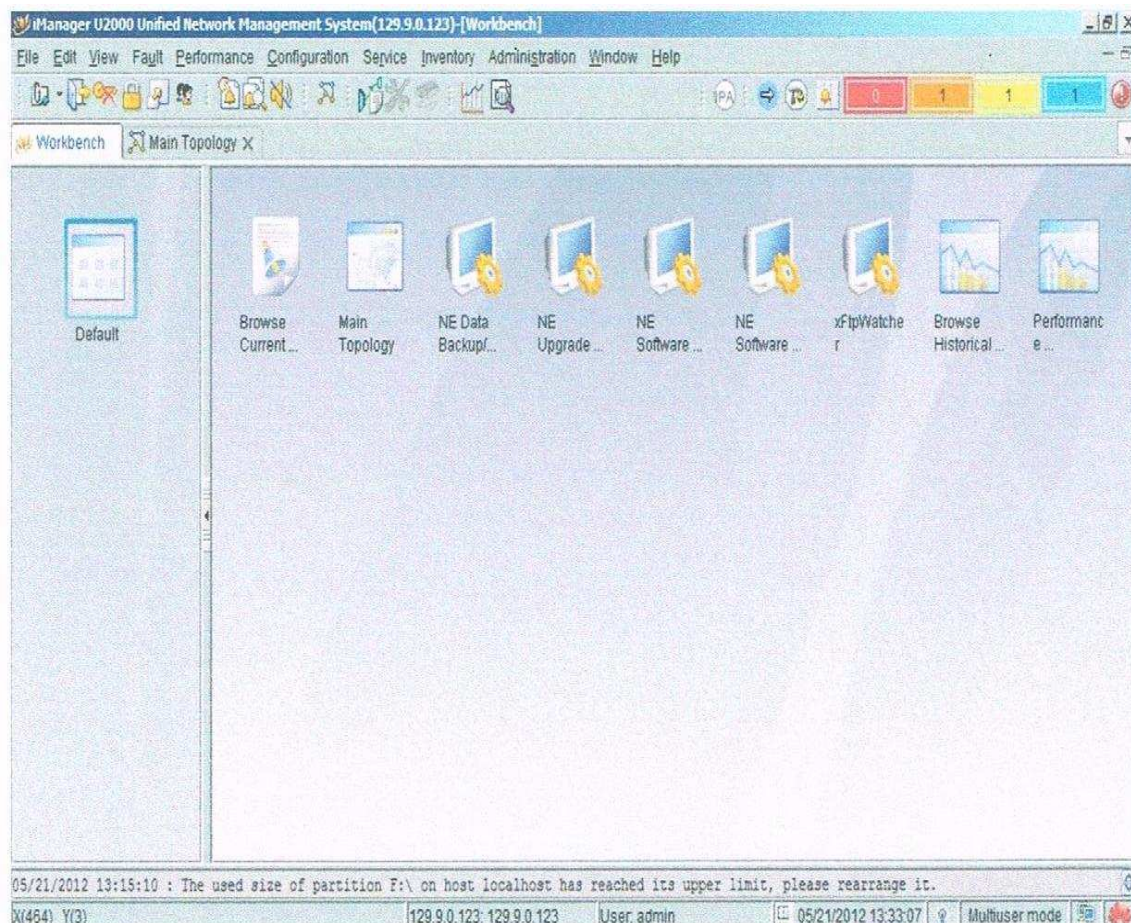


Figure IV.05: Interface de l'U2000.

IV-3-2-3) Les principales caractéristiques de l'U2000:

- La configuration de services de bout en bout allant des équipements WDM d'accès jusqu'aux équipements Metro WDM sans utiliser les câblages dans chaque site.
- Gérer Uniformément plusieurs type d'équipements et de services, y compris SDH, WDM, le système câble sous-marin, Ethernet, ATM, etc...
- Déploie les processus de gestion de service NE.+
- Etant un système de gestion de sous réseaux, il fournit toutes les fonctions de gestion éléments et quelques fonctions de gestion de réseaux.
- Supporte les deux plateformes Windows, Linux et UNIX, dans les quelles les mêmes opérations sot fournies.
- Supporte plusieurs interfaces externes ouvertes.

- Fournit interface utilisateur graphique basée sur le JAVA, dans une structure « d'arbre à gauche et table à droite ».
- Fournit une fonction puissante de recherche d'équipements, avec laquelle l'utilisateur peut chercher puis créer les NEs et les fibres dans un groupe.
- Fournit toutes les fonctions de gestion d'alarmes, de configuration, de performances et de sécurité.
- Supporte tous les protocoles de communication.
- Fournit plusieurs outils et méthodes de sauvegarde et de restauration des données, pour assurer la sécurité des données réseau.

IV-3-2-4) Description de LCT

Le LCT de Huawei a des fonctions de gestion abondante à la couche NE:

➤ **Gestion de NE:**

- Recherche des NEs
- Ajout/suppression de NEs.
- Connexion ou de déconnexion des NEs.

➤ **Gestion D'alarmes:**

- Définitions des stratégies de surveillance d'alarme
- Voir des alarmes
- Suppression des alarmes

➤ **Gestion des Performances:**

- Définitions des stratégies de suivi des performances
- Voir les performances des événements.
- Remise à Zéro des registres de performances.

➤ **Gestion de Configuration:**

- Configuration des informations de base du NE.
- Configuration des liens Radio.
- Configuration de protection
- Configuration d'interface
- Configuration de service
- Configuration horloge.

➤ **Gestion de Communication:**

- Gestion de paramètres de communication
- Gestion de DCC.
- Gestion de Protocol IP.
- Gestion de Protocol OSI.

➤ **Gestion de Sécurité:**

- Gestion d'utilisateur NE.
- Gestion de groupe d'utilisateur NE.
- Contrôle d'accès LCT.
- Gestion d'utilisateur en ligne.
- Paramètres de sécurité NE.
- Gestion d'utilisateur NMS.
- Gestion des logs NMS.

IV-4) Les étapes de création du réseau DWDM avec le logiciel U2000:

Dans cette étape nous allons procéder comme suite:

- Conception des NEs
- Création des NEs.
- Paramétrage des NEs.
- L'attribution des cartes.
- Configuration des services suivant la location des longueurs d'ondes.
- Création de protections.

IV-4-1) Conception des NEs:

❖ **Site 1:** Les connexions entre les cartes:

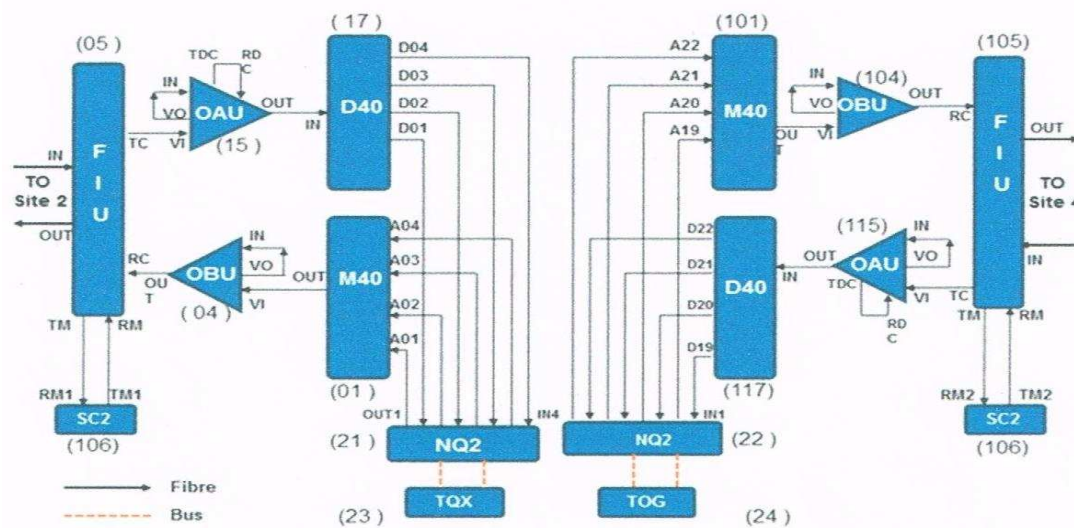


Figure IV.06: Les connexions entre les cartes (nœud 1).

❖ **Présentation des composants d'un nœud:**

➤ **FIU (Fiber Interface Unit):**

Comme toutes les cartes de multiplexage/démultiplexage, la carte FIU réalise le multiplexage et le démultiplexage du signal optique utile (signal client) avec le signal de supervision. La figure suivante montre le principe de fonctionnement de la carte:

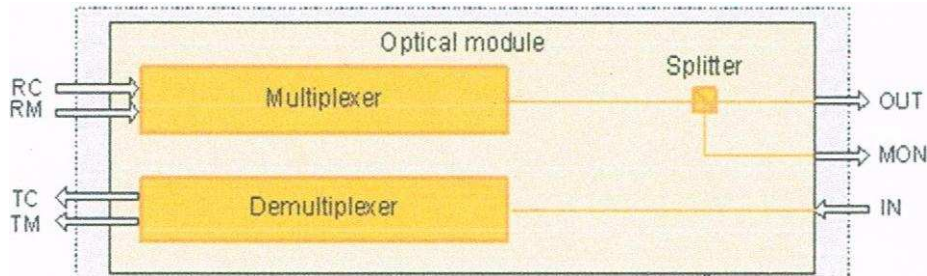


Figure IV. 07: Principe de fonctionnement de la carte FIU.

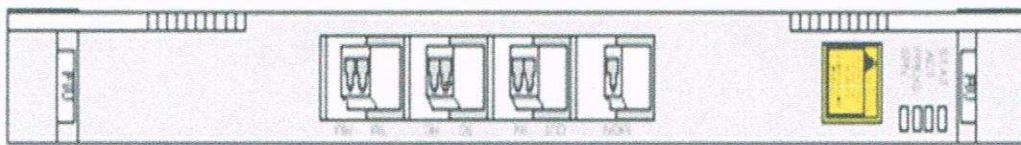


Figure IV.08: La carte FIU (Vue de face).

➤ **TQX:**

Comme toutes les cartes tributaires, la carte TQX réalise la conversion entre quatre signaux optiques 10GE LAN/10GE WAN/STM-64/OTU2 et quatre signaux électriques.

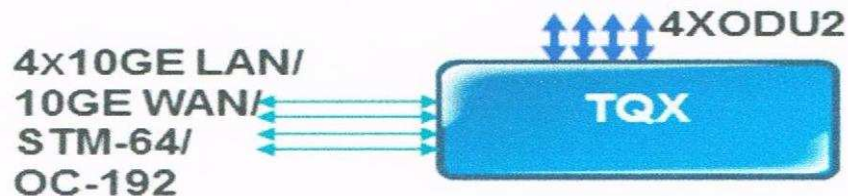


Figure IV.09: Principe de fonctionnement de la carte TQX.

T: Tributary unit (carte tributaire).

Q: 4 ports clients.

X: 10G.

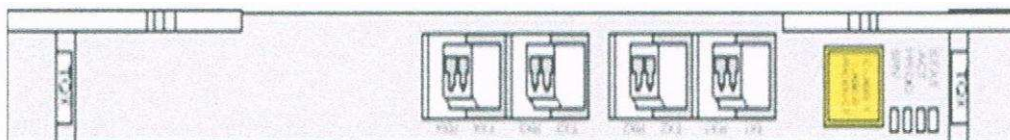


Figure IV.10: La carte TQX (vue de face).

➤ **TOG:**

C'est une carte tributaire comme la carte TQX, mais elle est dédiée uniquement aux services de type Giga Ethernet (GE).

T : Tributary Unit (carte tributaire).

O : 8 ports clients.

G : Service GE.

➤ **D40:**

La carte D40, réalise le démultiplexage d'un signal optique en 40 signaux WDM normalisé.

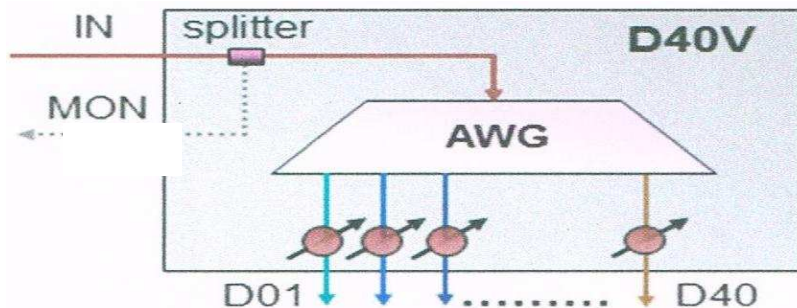


Figure IV.11: Principe de démultiplexage de la carte D40.

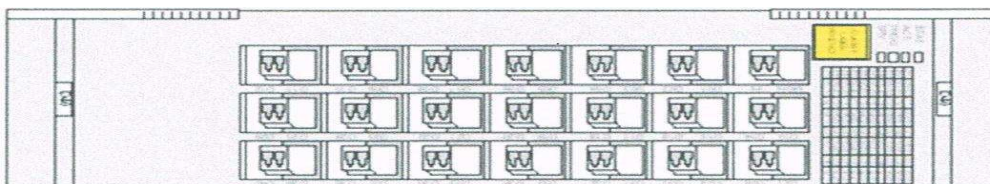


Figure IV.12: La carte D40 (vue de face).

➤ **M40:**

La carte M40, c'est une carte de multiplexage de 40 canaux maximum en un canal de signal WDM normalisé suivant les recommandations de l'ITU-T, la figure suivante montre le principe de multiplexage de cette carte :

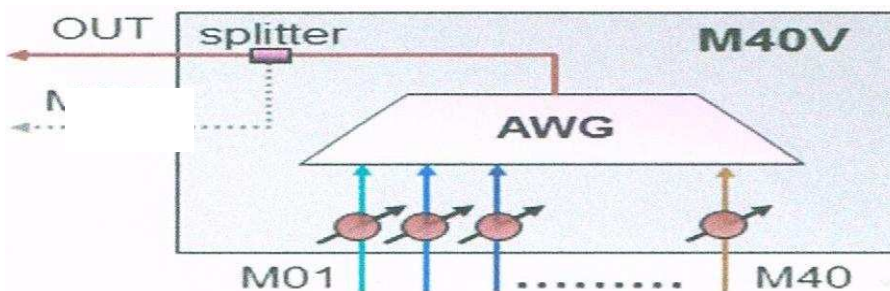


Figure IV.13 : Le principe de multiplexage de la carte M40.

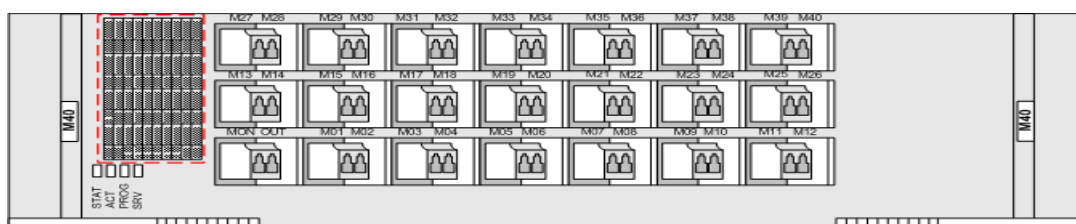


Figure IV.14: La carte M40 (vue de face).

➤ **NQ2 :**

C'est une carte de ligne, qui réalise la conversion entre 30 canaux ODU0, ou 16 canaux ODU1 ou 4 canaux ODU 2 et 4 canaux de signal WDM standardisé.

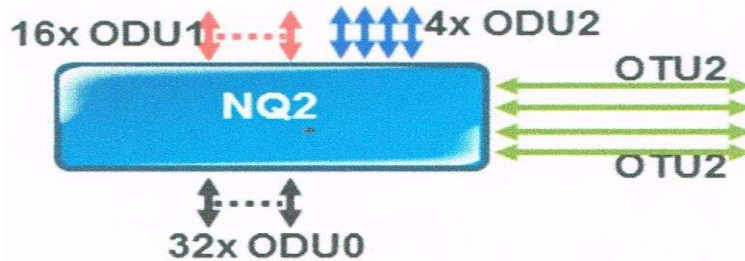


Figure IV.15: Le principe de multiplexage de la carte NQ2

N: Line unit (carte de ligne).

Q: 4 ports WDM.

2: OTU2.

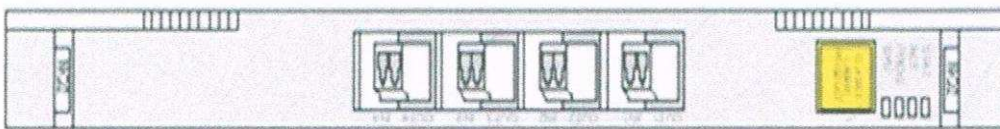


Figure IV.16: La carte NQ2 (vue de face).

➤ **SC2 (Bidirectional Optical Supervisory channel):**

La carte SC2 est une carte de supervisons, elle traite deux signaux de supervisons dans deux sens. La longueur d'onde opérationnelle est : 1550 nm.

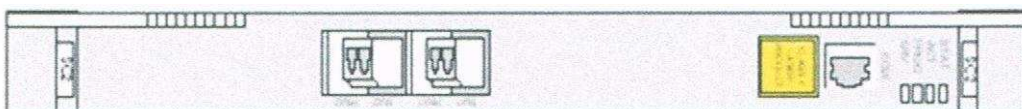


Figure IV.17: La carte SC2 (Vue de face).

➤ **OAU1 (Optical Amplifier Unit):**

C'est une carte d'amplification du signal optique, la figure suivante montre le principe de fonctionnement de cette carte:

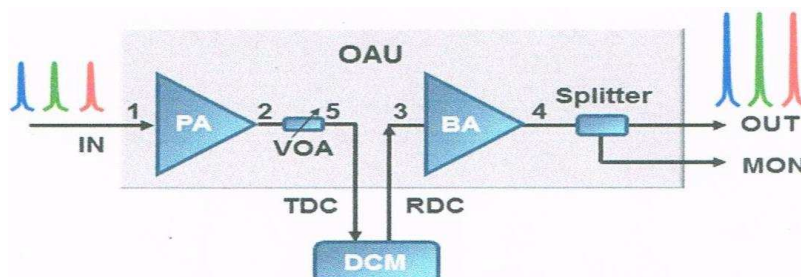


Figure IV.18: Le principe de fonctionnement de l'OAU.

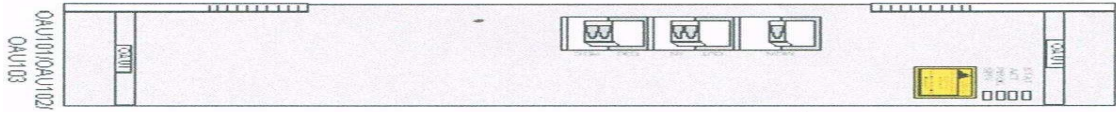


Figure IV.19: La carte OAU1 (Vue de face).

➤ **OBU 103 (Optical booster Unit):**

La carte OBU est une carte d'amplification, comme la carte OAU, la selon différence quelle ne contient pas de module de compensation de la dispersion DCM. La figure suivante illustre le principe de fonctionnement de la carte:

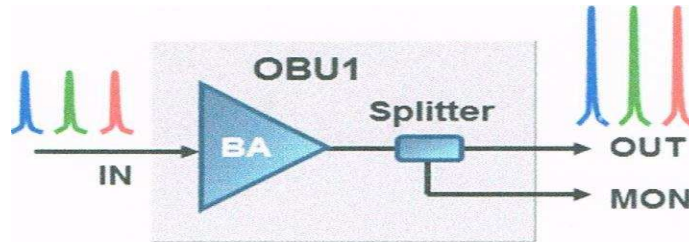


Figure IV.20: Le principe de fonctionnement de l'OBU1.

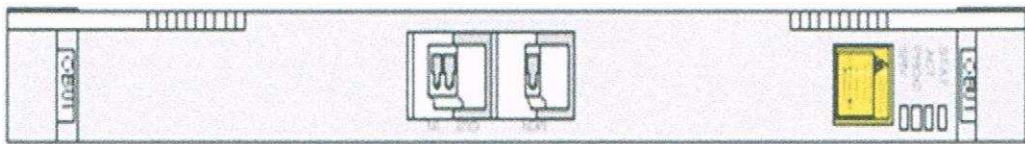


Figure IV.21: La carte OBU (Vue de face).

❖ **Site 2 :**

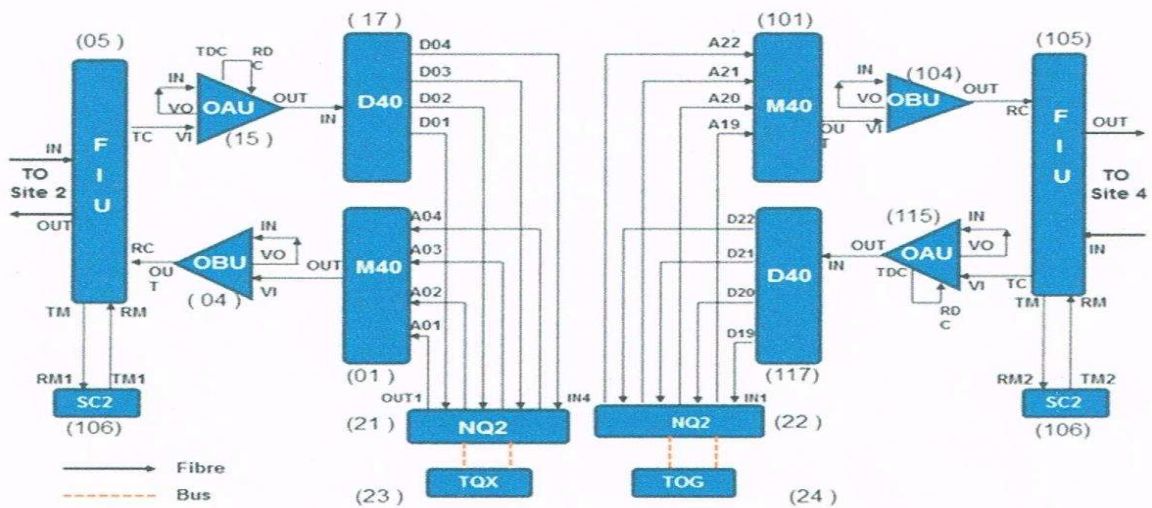


Figure IV.22: Les connexions entre les cartes (nœud 2).

❖ Site 3 :

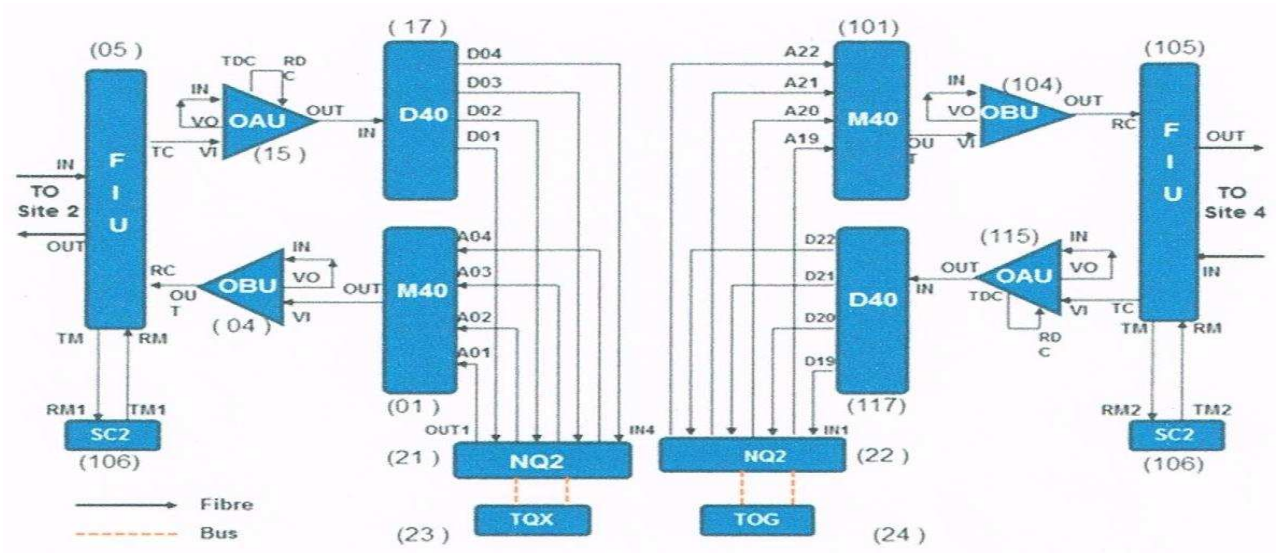


Figure IV.23: Les connexions entre les cartes (nœud 3).

❖ Site 4 :

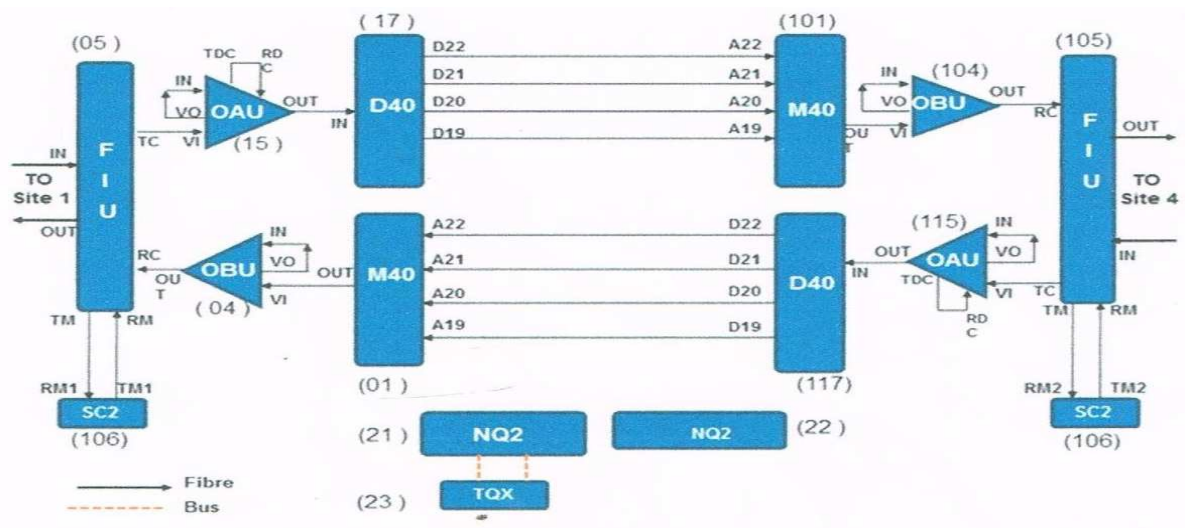


Figure IV.24: Les connexions entre les cartes (nœud 4).

IV-4-2) Création des NEs:

- Création des NEs en suivant les étapes comme le montre la figure suivante:

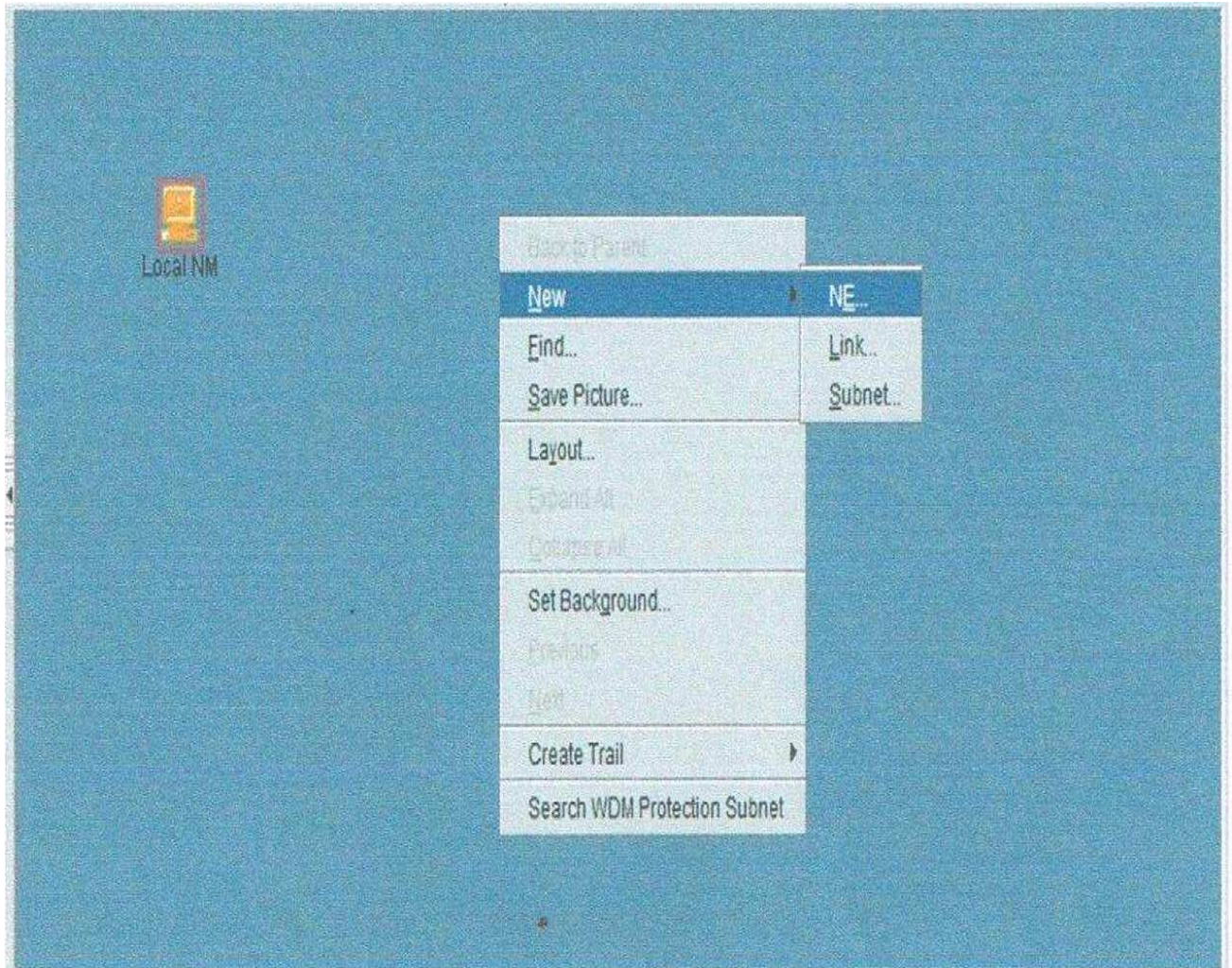


Figure IV.25: Création des NEs

VI-4-3) Paramétrage des NEs:

Après la création des NEs, on doit choisir le type d'équipement ; dans ce cas là c'est l'OSN 8800, et après on attribue à chaque NE ses paramètres comme montre la figure suivante:

The screenshot shows a 'Create NE' dialog box with a tree view on the left and a configuration table on the right. The tree view includes categories like NM, LH WDM Series, Metro WDM Series, NG WDM Series, Optical NE, 3rd-Party, Dummy Device, Microsoft Windows, Sun Workstation, and RTN Series. Under NG WDM Series, 'OptiX OSN 8800 T32' is selected. The configuration table has the following data:

| Attribute | Value |
|-----------------|--------------------|
| Type | OptiX OSN 8800 T32 |
| ID | 11 |
| Extended ID | 9 |
| Name | NE(9-11) |
| Remarks | Site 2 |
| Gateway Type | Gateway |
| Protocol | IP |
| IP Address | 129.9.0.11 |
| Connection Mode | Common |
| Port | 1400 |
| Associated ONE | - |
| NE User | dwdm0003 |
| Password | •••••••• |

At the bottom of the dialog, there is an unchecked checkbox for 'Upload automatically' and three buttons: 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

Figure IV.26: Distinguer le type d'équipement.

- Les différents paramètres du NE sont : (ID, nom, Gateway, protocole, l'adresse IP, et le nom d'utilisateur et le mot de passe).

| Attribute | Value |
|-----------------------------|------------------|
| Type | OptiX OSN 8800 I |
| ID | 18 |
| Extended ID | 9 |
| Name | NE18 |
| Remarks | |
| Gateway Type | Non-Gateway ▼ |
| Affiliated Gateway | A ▼ |
| Affiliated Gateway Protocol | IP |
| Affiliated ONE | - ▼ |
| NE User | root |
| Password | |

Figure IV.27: Paramètres d'un NEs.

Un ID unique doit être attribué à chaque nœud afin d'identifier les différents nœuds dans le réseau, ce qui permet au gestionnaire NMS d'identifier les différents éléments réseau dans sa base de données. Si l'adresse IP du nœud est 129.9A.B alors son ID est $A*256+B$.

- Pour le NE °1 : ID=10, Nom='Site 1', protocole='IP', l'adresse IP='129.9.0.10', le nom de l'utilisateur du NE= 'dwdm0001', le mot de passe='ne_dwdm0001').
- Pour le NE °2 : ID=11, Nom='Site 2', protocole='IP', l'adresse IP='129.9.0.11', le nom de l'utilisateur du NE= 'dwdm0002', le mot de passe='ne_dwdm0002').
- Pour le NE °3 : ID=10, Nom='Site 3', protocole='IP', l'adresse IP='129.9.0.12', le nom de l'utilisateur du NE= 'dwdm0003', le mot de passe='ne_dwdm0003').
- Pour le NE °4 : ID=10, Nom='Site 4', protocole='IP', l'adresse IP='129.9.0.13', le nom de l'utilisateur du NE= 'dwdm0004', le mot de passe='ne_dwdm0004').

IV-4-4) Attribution des cartes:

Avec l'U2000 LCT on peut charger la configuration des cartes de chaque NEs automatiquement à partir de l'équipement lui-même.

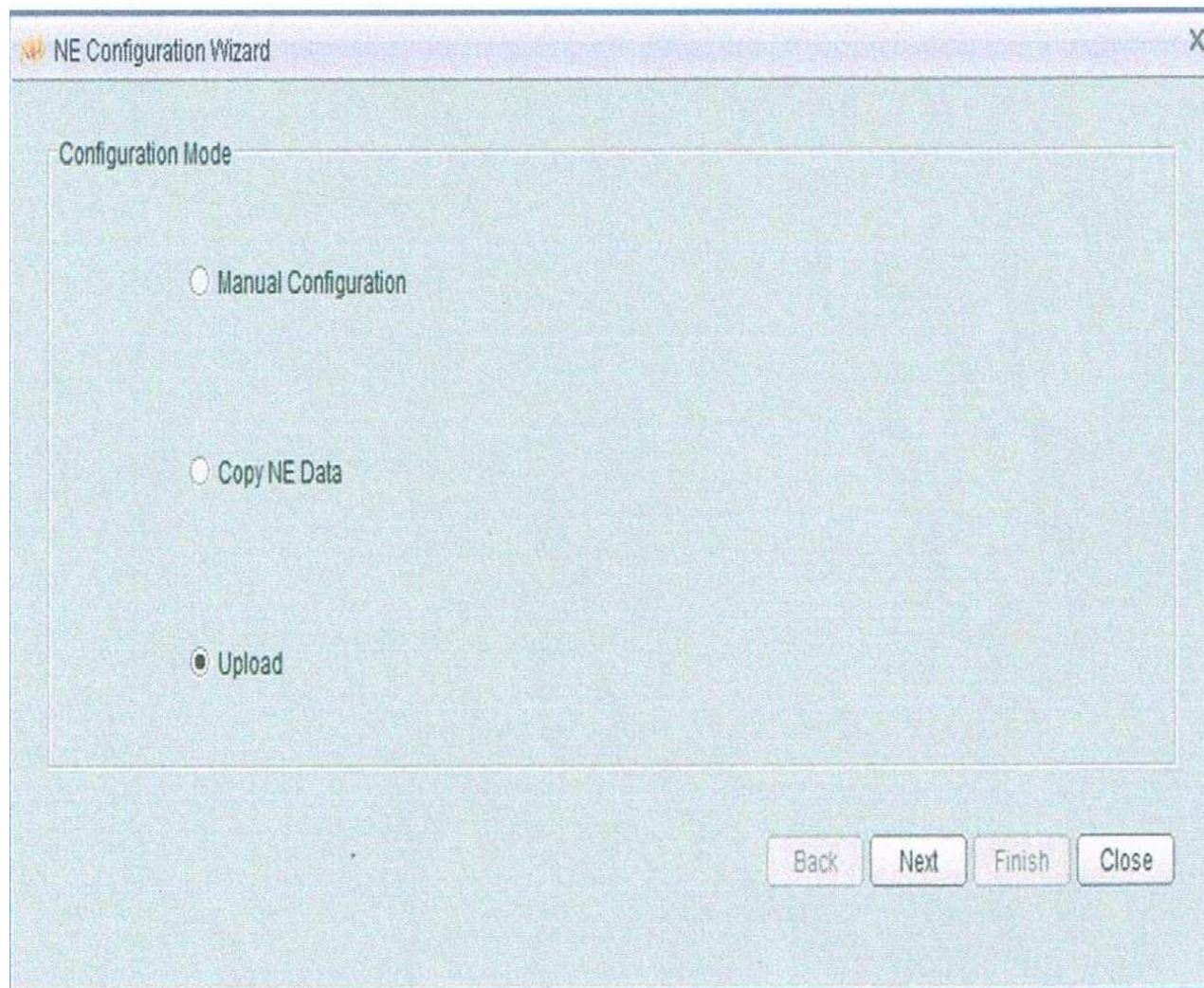


Figure IV.28: Configuration des cartes.

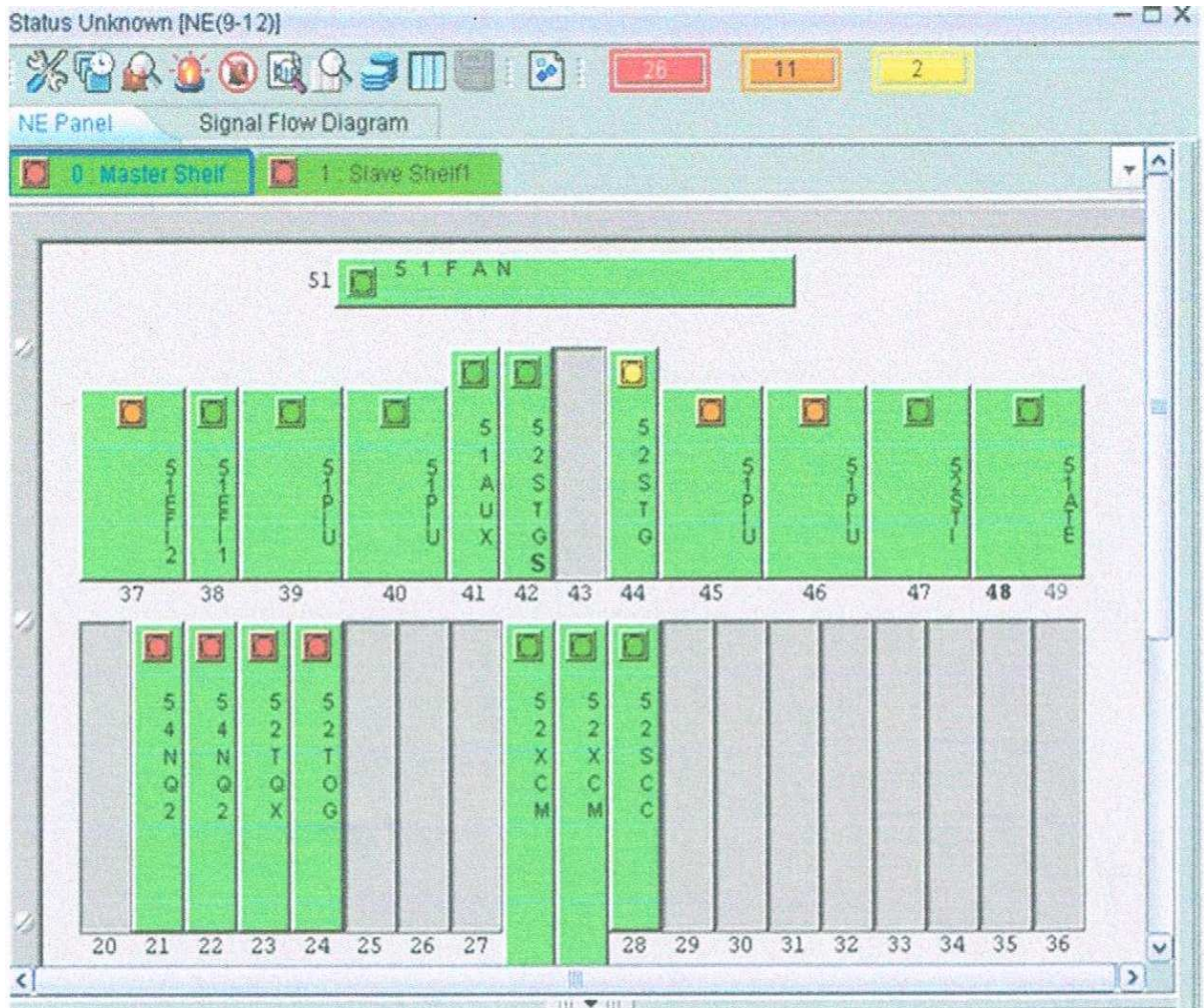


Figure IV.29: Chargement des cartes.

IV-4-5) Création de services:

Dans cette application on va créer des services GE et des services STM-64, comme le montre les schéma suivants:

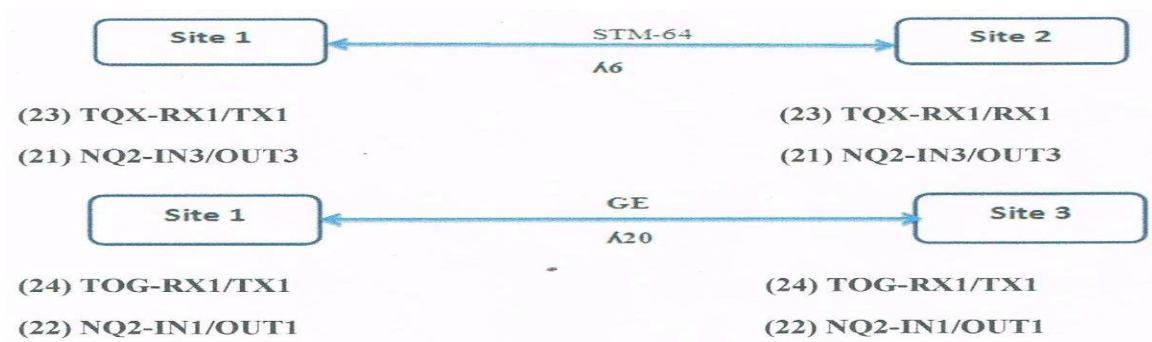


Figure IV.30: Création des services GE et STM-64.

- Pour créer un service, il faut sélectionner le type de ce service dans chaque port de la carte:

By Board/Port (Channel)
By Function

Channel ▼

Basic Attributes | Advanced Attributes

| Optical Interface/Ch | Optical Interface | Channel Use | Optical Interfa | Service Type | Laser Status | Automatic Las | LPT Enabled |
|----------------------|-------------------|-------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|-------------|
| NE7185-13-12LQMS | IN/OUT | Used | / | - | / | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | RX1/TX1 | Used | / | - | / | Enabled | Disabled |
| NE7185-13-12LQMS | RX2/TX2 | Used | / | - | / | Enabled | Disabled |
| NE7185-13-12LQMS | RX3/TX3 | Used | / | - | / | Enabled | Disabled |
| NE7185-13-12LQMS | RX4/TX4 | Used | / | - | / | Enabled | Disabled |
| NE7185-13-12LQMS | ODU1LP/ODU1LP | - | - | - | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | ClientLP/ClientLP | - | - | GE ▼ | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | - | - | - | FDDI ▲ | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | - | - | - | FE | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | - | - | - | FICON | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | - | - | - | FICON Exp | - | - | - |
| NE7185-13-12LQMS | - | - | - | GE | - | - | - |
| | | | | GE(GFP-T) | | | |
| | | | | HDTV | | | |
| | | | | OC-3 | | | |
| | | | | OC-12 | | | |
| | | | | OC-48 | | | |
| | | | | OTU-1 ▼ | | | |

Figure IV.31: Types de services.

- Après avoir créé la cross connexion électrique entre la carte tributaire et la carte de ligne, on obtient les paramètres suivants:
- Level (niveau de cross connexion)
 - Pour les services GE : level= ODU 0.

| Attribute | Value |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Level | ODU0 |
| Service Type | - |
| Direction | Unidirectional |
| Source Slot | Shelf0(Master Shelf)-... ... |
| Source Optical Port | 201(ClientLP1/ClientLP1) |
| Source Optical Channel(e... | 1 |
| Sink Slot | Shelf0(Master Shelf)-... ... |
| Sink Optical Port | 161(ODU0LP1/ODU0LP1) |
| Sink Optical Channel(e.g. ... | 1 |
| ODUflex Timeslots | - |
| Activate Immediately | Active |

Active

OK Cancel Apply

Figure IV.32: Paramètre de service GE.

➤ Pour le service STM-64:

- level= ODU 2.

| Attribute | Value |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Level | ODU2 |
| Service Type | - |
| Direction | Bidirectional |
| Source Slot | Shelf0(Master Shelf)-... ▾ ... |
| Source Optical Port | 202(ClientLP2/ClientLP2) ▾ |
| Source Optical Channel(e... | 1 |
| Sink Slot | Shelf0(Master Shelf)-... ▾ ... |
| Sink Optical Port | 73(ODU2LP3/ODU2LP3) ▾ |
| Sink Optical Channel(e.g. ... | 1 |
| ODUflex Timeslots | - |
| Activate Immediately | Active ▾ |

OK Cancel Apply

Figure IV.33: Paramètre de service STM-64.

- Direction de service : soit unidirectionnelle ou bidirectionnelle.
- Source Slot (l'emplacement de la carte source de service (carte tributaire)).
- Source optical port (le numéro de port de la carte source).
- Sink slot (l'emplacement de la carte de destination (carte de ligne)).
- Sink optical port (le numéro de port de la carte de destination).

IV-4-6) La protection:

Dans cette application on va créer un protection de type SNCP: La protection SNCP est réalisée avec le principe (Concurrence démission et sélection de réception). Le signal injecté alimente les deux fibres en fonctionnement. En cas de panne du canal de fonctionnement, le nœud récepteur bascule pour choisir le trafic provenant du canal de secours.

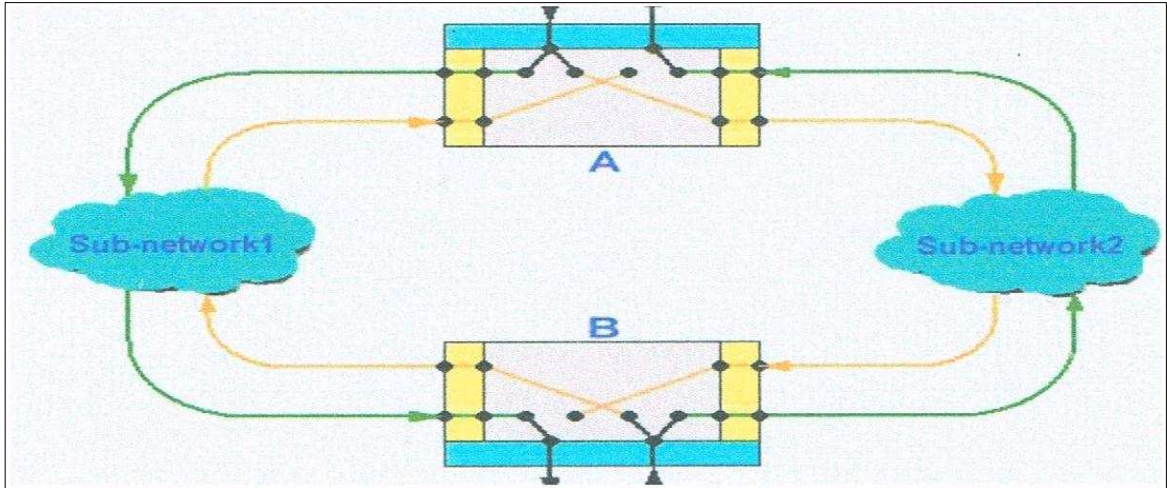


Figure IV.34: Le principe de la protection SNCP.

Dans notre cas DWDM on va créer la protection SNCP de type ODUK.

- Le chemin principal est de NE°1 vers NE°4 passant par le NE°2.
- Le chemin de protection est de NE°1 vers NE°4 passant par le NE°3

Comme le cas du cross connexion, on va définir pour chaque chemin (principal et protection) la carte source et la carte de destination, comme montre la figure suivante:

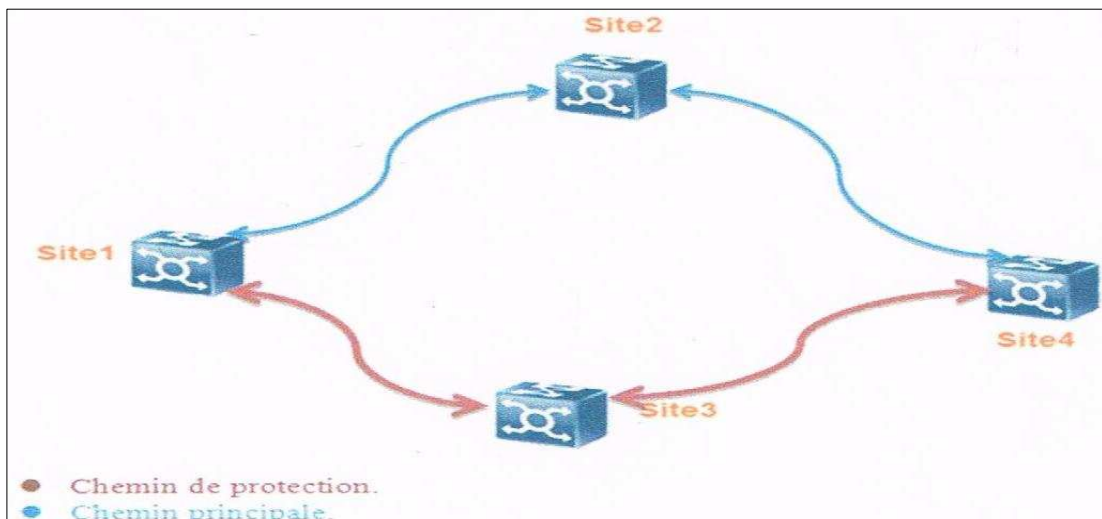


Figure IV.35: Protection SNCP.

- Ainsi, on définit la carte source et la carte de destination:

Create SNCP Service

Protection Type: ODUK SNCP SNCP Type: SNCP1

Service Type: ODU0 OTN Level: -

Revertive Mode: Non-Revertive WTR Time (mm:ss): -

Working Channel Hold-Off Time (100ms): 0 Protection Channel Hold-Off Time (100ms): 0

SD Switching: Disabled Direction: Unidirectional

ODUflex Timeslots: -

Switching Mode: -

| Attribute | Working Service | Protection Service |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Source Slot | Shelf0(Master Shelf)-21-54... ▼ | Shelf0(Master Shelf)-22-54... ▼ |
| Source Optical Port | 161(ODU0LP1/ODU0LP1) ▼ | 161(ODU0LP1/ODU0LP1) ▼ |
| Source Optical Channel(e.g. 1, 3-... | 1 | 1 |
| Sink Slot | Shelf0(Master Shelf)-24-52T... ▼ | |
| Sink Optical Port | 203(ClientLP3/ClientLP3) ▼ | |
| Sink Optical Channel(e.g. 1, 3-6) | 1 | |
| South Port Slot No. | | |
| South Port No. | | |

Activate Immediately

OK Cancel Apply

Figure IV.36: La fenêtre de la carte source et la carte de destination.

VI-5) Conclusion:

Dans cette partie, nous avons mis en évidence l'équipement DWDM et son rôle dans le réseau optique selon les demandes des utilisateurs et des entreprises.

Cet équipement tiens compte de la rentabilité pour des différentes opérations établies sur le réseau optique simultanément qui doivent être traitées et évaluées d'une manière très rigoureuse dans le but de réaliser l'opération de l'acheminement de l'information d'un réseau à un autre, en utilisant les composants optoélectroniques du réseau DWDM tel que les Lasers, les multiplexeurs / démultiplexeurs à Insertion / Extraction, les amplificateurs optiques ainsi que les brasseurs optiques.

Ce réseau s'appuie sur la plateforme OSN 8800 T32 de Huawei, qui permet à Algérie Télécom de migrer des services, fonctionnant avec le système DWDM existant vers des services de nouvelles générations de type data destinées à ses clients. Ainsi l'amplitude et la transmission peut être augmenté et Algérie Télécom pourra fournir à ses clients des services rapides et de nouvelles générations.

Pour conclure, il faut dire que l'exploitation des systèmes optique est nécessaire car c'est des équipements puissants, performants et rentables. D'ailleurs ils s'imposent de plus en plus sur le marché à des prix de plus en plus compétitifs vis-à-vis des dispositifs optoélectroniques.

De plus, leurs emplacement demandent des techniques de déploiement et des stratégies d'implémentation qui présentent un intérêt certain en terme de profit et de rentabilité dans le but d'englober tout le réseau national sans trop d'investissement ainsi que le réseau International en fixant des câbles à fibre optiques sous-marins et les dispositifs appropriés.

L'objectif de ce travail était d'étudier la liaison de transmission optique DWDM et de montrer l'utilité de ce réseau qui constitue une étape importante vers le développement des télécommunications en facilitant les opérations de transmissions via différents services des utilisateurs.

Notre démarche consistait à nous focaliser d'abord sur la compréhension des phénomènes physiques à l'origine de la nouvelle technologie DWDM et ensuite de nous intéresser aux méthodes utilisées afin de proposer une architecture optique et à faible coût.

L'idée est de remplacer une technologie coûteuse avec des composants électroniques et de concevoir le développement d'une architecture basée sur des dispositifs optiques hauts débits très performants, fiables et à faible coût. Mais la conception de nouveaux systèmes, toujours plus performants est un problème de plus en plus complexe, tant que le nombre de paramètres d'affluents sur les performances d'une liaison est important.

Puis on s'est intéressé aux aspects optiques des différents dispositifs mis en place pour permettre la transmission grâce à la fibre optique qui assure les fonctions de transport de l'information sans atténuations prononcées ainsi que le multiplexage, le brassage et la supervision des signaux optiques présents dans le réseau.

De plus, l'étude de notre projet s'est concrétisée par la présentation globale de l'équipement DWDM d'Algérie Télécom qui utilise l'équipement (OSN 8800) de HUAWEI qui atteint les 100 Gbit/s.

Ainsi notre étude part de deux constatations principales:

- ❖ Le réseau de transport optique nécessite de nombreuses conversions optoélectroniques à chaque nœud et même à l'intérieur des liens dont la longueur dépasse une certaine limite.
- ❖ Les performances des nouveaux systèmes de transmission et de brassage optique permettent de transporter des quantités élevées d'informations sur des milliers de kilomètres et de traverser les nœuds intermédiaires de manière transparente (sans conversion optoélectroniques).

L'origine et les conséquences de ces phénomènes montrent que l'équipement DWDM est très performant et fiable et répond aux besoins des utilisateurs en divisant la bande passante en plusieurs intervalles et en affectant chaque intervalle à un utilisateur le tout exprimé en longueurs d'ondes qui seront transmises simultanément dans une seule fibre optique.

Bibliographie

- [1]: Pascal Nasom, fibre optique, Ed Dole magazine, 2010.
- [2]: Didier Segura et Antoine Labaud, réseau optiques et routage optique, mémoire d'ingénierie, Sorbonne université ,23 mars 2007.
- [3]: Colombier François et pugnoud Christophe, réseaux et routage optiques, mémoire M2 TNI-ASR, université Montpellier2 science et technique du Languedoc ,2004-2005.
- [4]: Toffano Z, « Optoélectronique : Composants photoniques et fibres optiques », Ellipses: Paris, 2000.
- [5]: ZOUINE. Y; 2005 – « Contribution par la simulation système à l'étude des contraintes des composants».
- [6]: MEUNIER. J - P; 2003 – « Télécoms Optique »: Composants à fibres systèmes de transmission. Ed.
- [7]: Jean-Paul Gautier, les réseaux optiques, projet réseau académique parisien, société CADA ,1999.
- [8]: Lecoy Pierre, communication sur la fibre optique, Ed.Lavoisier-hermès, 2014.
- [9]: Ivan Kesteloot, Stephane Rzetelny et Eric Jullien, nouvelle technologie réseau SDH, mémoire d'ingénieur professeur, école EISTI, 2012-2013.
- [10]: Bayer Gerard, les réseaux synchrones et entendus PDH et SDH, Ed. Hermès, 1997
- [11]: Simo Kungne et Hervé Valere, étude de migration de la boucle mètre SDH vers une boucle métré IP, école nationale supérieur des postes et de télécommunication ,2011-2012.
- [12]: Julien Maury, étude et caractérisation d'un fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique, thèse de doctorat, université de limoges, 2003.
- [13]: technologie CO.LTD, documentation interne: Optix WDM network design basics issuel.01, 2009.
- [14]: HUAWEI technologie CO.LTD, documentation interne: WDM principale ISSU E1.25, 2012.
- [15]: Pinson G., « Physique Appliquée », [http:// www.syscope.net/elec/](http://www.syscope.net/elec/),2004.
- [16]: Jean-Louis VERNEUIL « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », thèse doctorat UNIVERSITE DE LIMOGES 2003.
- [17]: MEUNIER J - P; 2003 – « Télécoms Optique »: Composants à fibres systèmes de transmission. Ed. Hermes. Paris.
- [18]: Joindot M., Joindot I, « Fibres optiques pour télécommunications», E7 110, 2000.
- [19]: E. Rosencher et B. Vinter, Optoélectronique (Masson, 1998).
- [20]: DELLIER.S ; 2005 - « Contributions à la conception des circuits micro-ondes» Thèse de doctorat de l'Université de LIMOGES.
- [21]: J.Xie, P.Colbourne, N.J. Copner, B.P. Keyworth, A.D. Cohen, J.BPhilipson et M.C. Farries (1999), « High-channel-count 50-GHzspacedDWDM Using Optical Frequency Interleaving Technology», Actes de la troisième conférence sur la recherche dans le domaine des larges bandes, Ottawa, Canada, pp. 237.1-237.3.
- [22]: P. Lecoy, Télécoms sur fibres optiques 2me ed. (Hermes, réseaux et télécommunications, 1997).
- [23]: Communiqué de presse de Nortel Networks (1999), « Nortel Networks Breaks Own 'Land Speed Record' Using Light – Redefines Speed of Internet & Networking », <http://www.nortelnetworks.com/corporate/news/newsrelease>.
- [24]: Charles Brackett (1996), « Foreword : Is There an Emerging Consensus on DWM Networking? » Journal of Lightwave Technology, vol. 14, no 6, juin 1996, p. 936-941.

Webliographie:

- https://fr.wikipedia.org/wiki/Multiplexage_en_longueur_d%27onde
- <http://1999.jres.org/articles/gautier-te-08-final.pdf>
- http://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf
- <http://www.authorstream.com/Presentation/prahladbutola-1993674-dwdm/>
- <http://www.authorstream.com/Presentation/prahladbutola-1993674-dwdm/>
- <https://optiwave.com/resources/applications-resources/optical-system-16-channel-wdm-system-design/>
- <https://optiwave.com/applications/dwdm/>
- http://www.ee.columbia.edu/~bbathula/courses/HPCN/chap04_part-3.pdf
- https://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dwdm/dwdm_Intro/16_5311757.pdf