

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI 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 : Réseaux et Télécommunications

*Présenté par :*

**AMIROUCHE HACINA**

**SEGGAR FAIZA**

Thème :

**ETUDE ET CONFIGURATION DU  
RESEAU DE TRANSPORT DE  
DONNEE OPTIQUE NG-WDM**

**Promoteur : Mr. TAHANOUT M<sup>ed</sup>**

**Encadreur : Mr. TIGHDINE AMAR**

# Remerciements

*Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué dans le cadre de la préparation du diplôme de master en réseau télécommunications, à mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.*

*Avant tout, nous tenions à remercier le Bon Dieu de nous avoir graciés pour vivre, apprendre davantage et découvrir.*

*Nous tiendrons à exprimer nos profonde gratitude et nos immense respect à **Mr. TIGHDINE AMAR** pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, ses hautes qualités morales et scientifiques et pour nos avoir fait découvrir un domaine de recherche si passionnant.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également à **Mr. TAHANOUI Med**, notre promoteur à l'université pour ses conseils et son soutien affectif.*

*Nous exprimons toute notre gratitude à toute l'équipe de la société Algérie télécom pour leur soutien amical permanent et leurs consignes qui m'ont été fructueuses.*

*Nous adressons aussi notre plus vive reconnaissance à tous nos enseignants de l'université MOULOUD MAMMERI pour Les informations qu'ils nous donnée ainsi qu'aux membres de jury qui ont accepté de juger notre travail.*

*Nous remercions également à tous ceux qui nous permis de vivre cette expérience enrichissante. Qu'ils reçoivent ici le témoignage de nos reconnaissance.*

*Finalement, nous remercions tous ceux qui n'ont épargné aucun effort, de près ou de loin, pour me permettre d'accomplir notre travail et j'espère que ça sera le bon départ pour des travaux ultérieurs.*

# DEDICACES

*Je dédie ce modeste mémoire à ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, son soutien, tous les sacrifices consentis et ces précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma*

*Vie, reçois à travers ce travail soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle gratitude.*

*À mon père, décédé en 2005, qui m'a toujours poussé et motivé dans mes études, il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance de la part d'une fille qui a toujours prié pour le salut de son âme.*

*À mes frères et sœurs : AHCEN, HOCINE, DJAMEL, SEMINA, RAZIKA, SOUHILA, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*À Mon cher NORDINE, pour son aide précieuse et sa persévérance tout au long de mon mémoire.*

*À tous mes amis : SAMOU, HASSOU, HOURI, FATI, tous ceux avec qui j'ai passé des meilleurs moments et gardé de très bons souvenirs, à tous ceux qui m'aiment et qui ont cru en moi.*

**Faiza**

# DEDICACES

*Je dédie ce modeste mémoire à mon chère papa qui a tout sacrifié pour notre éducation et ma tendre mère, qui a œuvré pour ma réussite, son soutien, tous les sacrifices consentis et ces précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle gratitude.*

*Je vous souhaite une longue vie.*

*À ma grande mère Fatma.*

*À ma chère et unique sœur Nacira et mes frères Rabah, Mokrane, Mohand, Karim, qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.*

*À mes belles sœurs Fatima, Saliha, Zina, Nassima.*

*À mon neveu Elyan et mes nièces Nour El Houda et Youcra.*

*À mon oncle Amar et sa famille.*

*À mes chères cousines Soussou et Cissy.*

*À mes amies : SAMOU, FIFI, HOURI, FATI, LAMOU, SADIA et CICY, tous ceux avec qui j'ai passé des meilleurs moments et gardé de très bons souvenirs, à tous ceux qui m'aiment et qui ont cru en moi.*

*Hacina*

# Table des matières

Introduction général .....	01
----------------------------	----

## Chapitre I: Réseau de transport optique

1. Introduction .....	02
2. Généralités sur la fibre optique.....	02
2.1. Origine de la fibre optique .....	02
2.2.Caractéristique physique de la fibre optique .....	02
2.2.1. La bande passante utilisable des fibres .....	03
2.2.2. L'indice de réfraction .....	05
2.2.3. Loi de réflexion .....	06
2.3. Structure de la fibre optique .....	06
2.3.1. Cœur .....	07
2.3.2. Gaine optique .....	07
2.3.3. Le revêtement de protection.....	07
2.4. Les différents types de fibre optique.....	07
2.4.1.Fibre monomode .....	07
2.4.2.Fibre multimode.....	08
2.4.2.1. Fibre à saut indice .....	08
2.4.2.2.Fibre a gradient d'indice .....	08
2.5. Système de transmission de l'information par fibre optique .....	09
2.5.1.Emission.....	09
2.5.2.Réception .....	09
2.5.3.Codage .....	10
3. Les méthodes de modulation, la détection, l'amplification.....	10
3.1. Modulation .....	10
3.1.1.Modulation directe .....	10
3.1.2.Modulation externe .....	11
3.2. La détection.....	12
3.2.1.La détection directe.....	13
3.2.2.La réception hétérodyne.....	13
3.2.3.La réception homodyne.....	13
3.3. Le préamplificateur .....	14

4. Communication optique .....	14
4.1. Les étapes de l'évolution de réseau de transport.....	14
4.2. La hiérarchie numérique plésiochrone PDH .....	15
4.3. L'arrivée de SDH (SONET) .....	16
4.3.1. Les avantages de la nouvelle hiérarchie .....	16
4.4. Passage de SDH vers WDM .....	17
5. Conclusion .....	19

## **Chapitre II: Aperçu de réseau optique**

1. Introduction .....	20
2. Système hiérarchique SDH.....	20
2.1. La trame SDH .....	21
2.2. Principe de fonctionnement .....	23
2.3. Les pointeurs (PTR) .....	23
2.3.1. Principe des pointeurs.....	23
2.4. Les en-têtes.....	24
2.4.1. POH (path over head) .....	24
2.4.1.1. HPOH(high path over head.....	25
2.4.1.2. LPOH(low path over head).....	25
2.4.2. SOH(section over head).....	26
2.4.2.1. RSOH(regenerator section over head).....	26
2.4.2.2. MSOH(multiplex section over head).....	27
2.5. Le multiplexage SDH.....	28
2.5.1. Principe de multiplexage.....	29
2.5.2. Les éléments de la hiérarchie synchrone.....	30
2.5.3. La structure de multiplexage .....	31
2.6. Le réseau SDH .....	31
2.6.1. Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH.....	31
2.6.2. Les topologies de réseau .....	32
3. Le multiplexage en longueur d'onde WDM.....	33
3.1. Principe de WDM.....	33
3.2. Description de WDM .....	33
3.3. Application de WDM .....	35
3.4. Structure de système WDM .....	35

3.5. Mode de transmission WDM .....	36
3.5.1. Transmission unidirectionnel .....	36
3.5.2. Transmission bidirectionnel .....	36
3.6. CWDM et DWDM .....	37
3.7. Clé technologie de système WDM .....	38
3.7.1. Source optique .....	38
3.7.2. Récepteur .....	39
3.7.3. Les amplificateurs optiques .....	39
3.7.4. Multiplexage et démultiplexage .....	40
3.7.4.1. Les technologies de multiplexage .....	41
3.7.4.1.1. Multiplexage a filtre optique .....	41
3.7.4.1.2. Multiplexage a coupleur sélectif .....	41
3.7.4.1.3. Multiplexage a réseau de diffraction .....	41
3.7.4.2. OADM(optical add drop multiplexer) .....	42
3.7.4.2.1. Principe de fonctionnement d'OADM .....	42
3.7.5. Technologie de surveillance optique .....	43
3.7.5.1. Canal de supervision optique OSC .....	43
3.7.5.2. Canal de supervision électrique ESC .....	44
4. Conclusion .....	44

### **Chapitre III: les réseaux optiques WDM nouvelle génération (NG-WDM)**

1. Introduction .....	45
2. Présentation de l'OTN .....	45
2.1. Définition d'OTN .....	45
2.2. L'interface d'OTN .....	46
2.3. Structure en couche de l'architecture OTN .....	47
2.4. Hiérarchie d'interface et structure d'OTN .....	48
2.4.1. Module OTM à fonctionnalité complète OTM-n.m .....	49
2.4.2. Module OTM à fonctionnalité réduite OTM-0 ,OTM-nr.m .....	49
2.5. Structure de multiplexage et de cartographie .....	50
2.5.1. Mappage .....	51
2.5.2. Multiplexage par répartition en longueur d'onde .....	51
2.5.3. Technique de multiplexage d'ODU1 vers ODU2 .....	52

3. ASON (Automatic switched optical network).....	53
3.1. GMPLS au Cœur des réseaux optique.....	53
3.2. Fonctionnement de l'ASON .....	54
3.3. Concept de base de l'ASON.....	55
3.4. La relation entre les protocoles de l'ASON .....	55
3.5. Configuration des services .....	56
3.5.1. Utilisation de la bande passante .....	56
3.6. La cross-connexion électrique ( Electrical Grooming) .....	56
4. ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).....	57
4.1. Type du ROADM (Huawei).....	58
5. Conclusion .....	59

## **Chapitre IV: Simulation d'un réseau NG-WDM**

1. Introduction .....	60
2. Aperçu sur la société HUAWEI .....	60
3. Description de l'équipement.....	60
4. Type de service .....	61
5. Architecture de réseau .....	62
5.1. Allocation des longueurs d'ondes .....	63
6. Mise en œuvre de la simulation .....	63
6.1. Conception des NEs .....	64
6.1.1. FIU (Fibre Interface Unit).....	64
6.1.2. TQX .....	65
6.1.3. D40.....	65
6.1.4. M40 .....	66
6.1.5. NQ2.....	66
6.1.6. SC2 (Bidirectional Optical Supervisory Channel).....	67
6.1.7. TOG .....	67
6.1.8. OAU 101 (Optical Amplifier Unit).....	67
6.1.9. OBU 103 (Optical Booster Unit) .....	68
7. Présentation de la simulation.....	70
7.1. Description de l'U2000 .....	70
7.1.1. Les principales caractéristiques de l'U2000 .....	70
7.2. Description de LCT .....	70

8. Configuration et paramétrage du réseau .....	72
8.1. Création des NEs .....	72
8.2. Paramétrage des NEs .....	73
8.3. Attribution des cartes .....	74
8.4. Création des services .....	75
9. La protection.....	77
10. Conclusion.....	79
Conclusion générale .....	80

Glossaire

Références bibliographiques

## **Glossaire**

ADM: Add Drop Multiplexing.

ASON: Automatically Switched Optical Network.

ATM: Asynchronous Transfer Mode.

AUG: Administrative Unit Group.

CCI: Connection Controller Interface.

C.C.I.T.T: Consultative Committee for International Telephony and Telegraphy.

COMMS:Customer Oriented Manufacturing Management Systems.

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing.

DCCM:Data communication Channel Multiplex.

DEL: Diode Electroluminescent.

DW: Digital Wrapper.

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

DXC: Digital Cross Connect.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplification.

ESC: Electrical Supervisory Channel.

FEC: Forward Error Correction.

FIU: Fiber Interface Unit.

GMPLS: Generalized Multi Protocol Label Switching.

HPOH: High order Path over Head.

IP: Internet Protocol.

LED: Light Emitting Diode.

MSOH:Multiplex Section over Head.

NE: Network Element.

NNI: Node to Node Interface.

OA: Optical Amplifier.

OCC: Optical Connection Controller Interface.

OCG: Optical channel Carrier Group.

OCH: Optical Channel.

ODU: Optical Channel Data Unit.

OM: Optical Multiplexing.

OMS: Optical Multiplexing Section.

OMU: Optical Multiplexing Unit.

OOS: OTM Overhead Signal.

OPS: Optical Physical section.

OPU: Optical channel Payload Unit.

OSPF: Open Shortest Path First.

OTM: Optical Transport Module.

OTN: Open transport network.

OTS: Optical Transmission Section.

OTU: Optical Channel Transport Unit.

PD: Photon Détection.

PDH: Pleisiochronous Digital Hierarchy.

PIN: Photodiode à jonction P+ intrinsèque N+.

POH: Path over Head.

ROADM: Reconfiguration Optical Add Drop Multiplexer.

RSOH: Regenerator Section over Head.

RSVP: Ressource Reservation Protocol.

RWA: Routing and Wavelength Assignment.

SDH: Synchronous Digital Hierarchy.

SNCP: Sub Network Connection Protection.

SONET: Synchronous Optical Network.

STM: Synchronous Transport Module

TE: Traffic Engineering.

TUG: Tributary Unit Group.

UTI-I: International Telecommunication Union.

## Introduction générale

---

Depuis trente ans, la fibre optique est la technologie préférée pour l'interconnexion des nœuds de télécommunication. Sa supériorité dans le domaine du transport est particulièrement évidente dans le cœur des réseaux de télécommunication. La technologie optique reste inégalée pour le transport économique et fiable de données sur de longues distances. Il n'existe actuellement aucune autre technologie qui puisse menacer sa suprématie. Le réseau optique synchrone (SONET) et la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ont beaucoup contribué au succès de la technologie des réseaux optiques et se sont fait une solide réputation comme technologies de référence pour les réseaux résistants aux défaillances.

Pour augmenter le taux d'utilisation de la capacité des fibres, le SONET et la SDH ont été complétés par le multiplexage en longueur d'onde dense (DWDM), employé d'abord pour des liaisons point à point spécialisées et actuellement passe de devenir intègre à la technologie de réseau optique. À cet égard, l'acceptation de la recommandation G.709 sur le multiplexage optique, par l'Union internationale des télécommunications (UIT-T), peut être considérée comme un événement majeur dans l'évolution vers le réseau tout optique.

Dans notre étude, nous nous sommes intéressés aux réseaux optiques NG-WDM. Ce travail concerne le réseau de l'entreprise nationale d'Algérie Télécom équipé, essentiellement, du Matériel de la société Huawei.

Dans le premier chapitre nous présentons les grandes étapes d'évolution des réseaux de télécommunications numériques (asynchrones, synchrones, optiques). Le second chapitre est un aperçu des différents réseaux optiques en détaillant sur l'SDH et le WDM. Le troisième chapitre est consacré à l'étude théorique des nouvelles technologies et des évolutions au sein des réseaux de transport optique NG-WDM (OTN, ASON, ROADM) d'Algérie Télécom. Le dernier chapitre montre une conception d'un réseau optique NG-WDM pour Algérie Télécom en utilisant le simulateur U2000. Enfin nous terminons par une conclusion.

## **1. Introduction**

Les télécommunications utilisent massivement la transmission optique au moyen de liaisons en fibre, permettant d'augmenter le volume et le débit d'informations. Les liaisons intercontinentales sous-marines, les liaisons entre nœuds Internet sont réalisées par fibre optique, et la marche vers le très haut débit conduit à amener la fibre au plus près de l'utilisateur final. L'évolution des diodes laser, l'apparition des amplificateurs optiques ont permis l'amélioration des liaisons de télécommunication. Dans ce premier chapitre on se propose d'introduire le principe de fibre optique, notamment les étapes de l'évolution des techniques de communications optique à haut débit. Nous nous intéresserons aux divers procédés existants pour nous arrivons à celui proposé dans le cadre de ce travail.

## **2. Généralités sur la fibre optique**

### **2.1. Origine de la fibre optique**

Une fibre optique peut être assimilée à un fil en verre ou en plastique très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle offre un débit d'informations nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux. [1]



**Figure. 1.**La fibre optique

### **2.2. Caractéristiques physique de la fibre optique**

Afin de mieux comprendre les fonctionnements impliqués dans les technologies de fibre optique, il est nécessaire de rappeler rapidement ce qu'est la lumière. La lumière est constituée d'ondes électromagnétiques ou par un 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, une lumière constituée d'ondes

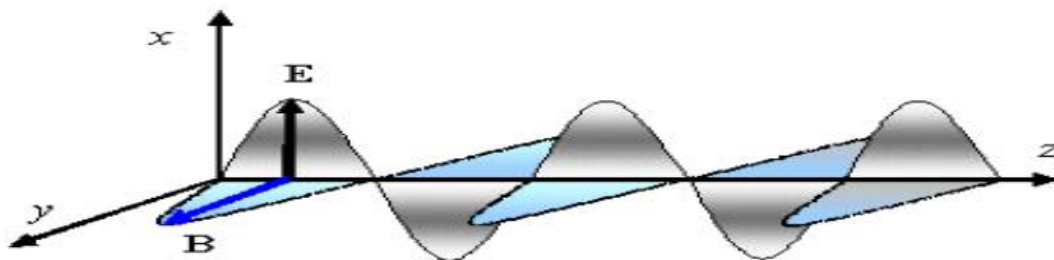
de la même longueur d'onde, est dite mono chromatique. Si en plus toutes les ondes ont la même phase, alors la lumière est cohérente c'est ce qui se passe dans un laser. La longueur d'onde d'une onde électromagnétique périodique est la distance que parcourt la lumière dans le vide pendant le temps qui sépare deux crêtes successives de cette onde Électromagnétique. [2] On la dénote communément par la lettre grecque

$$\lambda = c/\nu(1.1)$$

Où :

- $\lambda$  = longueur d'onde
- $c = 3 \times 10^8$  m/s vitesse de lumière
- $\nu$  = fréquence de l'onde

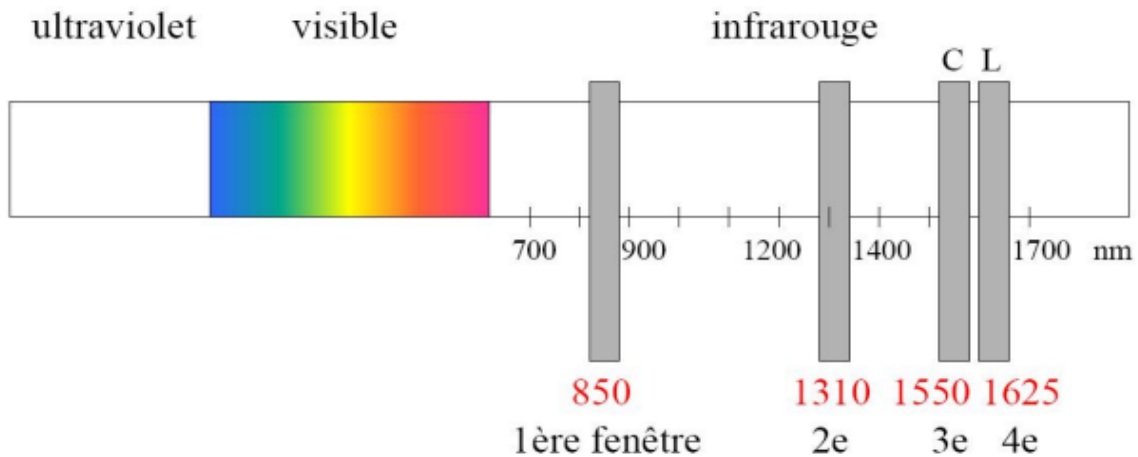
La phase indique la situation instantanée dans le cycle, d'une grandeur qui varie cycliquement. La vitesse de la lumière dans le vide est une constante de la physique. C'est la vitesse maximale permise pour tout déplacement d'information ou d'un objet matériel par la théorie de la relativité. Comme toute onde électromagnétique qui se propage, la lumière est constituée d'un champ électrique et d'un champ magnétique tous deux perpendiculaires à la direction de propagation. La polarisation d'une onde lumineuse indique les directions que prend, au cours de l'évolution temporelle ou le long d'un rayon lumineux donne le vecteur champ électrique et le vecteur champ magnétique dans le plan orthogonal au vecteur d'onde. [2]



**Figure. 2.** Champ électrique (E) et champ magnétique (B) de la lumière.

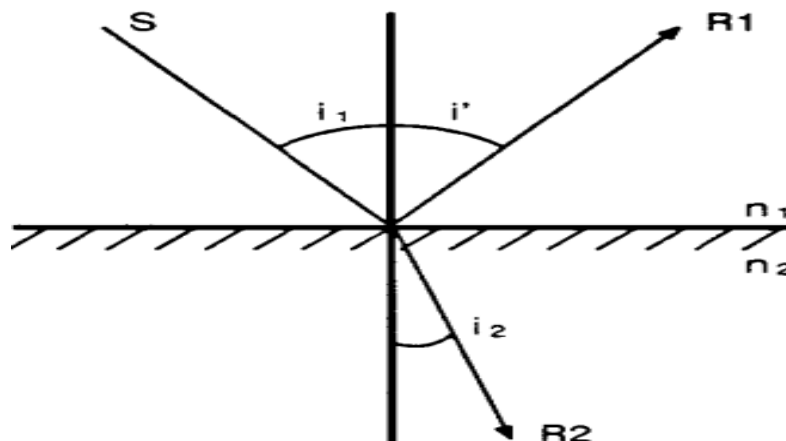
### 2.2.1. La bande passante utilisable des fibres

La bande passante d'une fibre est déterminée par la quantité de lumière qu'elle peut transporter, 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 nanomètres (nm) et sont centrées autour des longueurs d'onde 850, 1310, 1550 et 1625. [2]



**Figure.3.**Spectre des longueurs d'onde

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



**Figure.4.**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 «n1 et n2» 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.
- Lorsque l'angle réfléchi augmente, la réfraction tend vers zéro, et toute l'énergie est réfléchie.

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 lumières dans la fibre optique. [2]

### 2.2.2. L'indice de réfraction

L'indice de réfraction part d'une propriété fondamentale, chaque matériau transparent à son indice de réfraction, cette valeur permet d'évaluer la propagation de la lumière dans le matériau considéré. Un faisceau de lumière, au passage d'un milieu 1 vers un milieu 2, est réfléchi (retour au milieu d'origine) et il est réfracté avec une déviation (passage dans le milieu 2).

L'indice de réfraction ( $n_1$ ,  $n_2$ ) mesure la densité du milieu considéré par rapport à un milieu de référence (souvent l'air). La lumière rencontre une résistance lorsqu'elle se propage dans un milieu, car tout milieu a une densité optique plus grande que celle du vide. L'indice de réfraction est donc une mesure de cette densité optique. [2]

L'indice de réfraction correspond à une mesure de la vitesse de la lumière dans un milieu donne comparativement à sa vitesse dans le vide. Cette relation s'exprime comme suit :

$$n = c/v \quad (1.2)$$

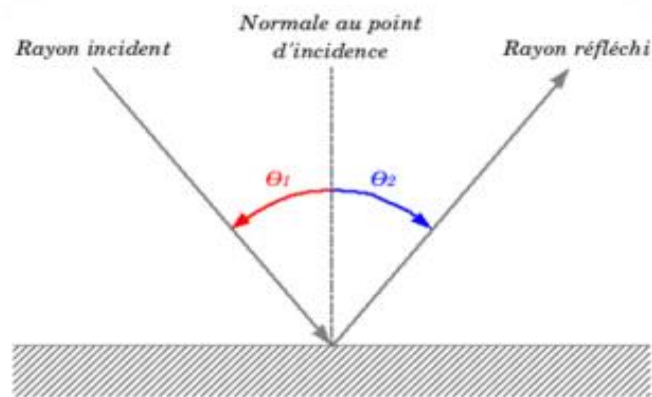
- $n$  est l'indice de réfraction
- $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide (300 000 km/s)
- $v$  est la vitesse de la lumière dans le milieu considéré

L'indice de réfraction d'un milieu ne peut pas être plus petit que "1", puisque la vitesse de la lumière dans un milieu ne peut être inférieure à sa vitesse dans le vide. Plus l'indice de réfraction  $n$  est grand, plus la vitesse dans le matériau étudié est faible. Comme le représente la figure.4. Il y a le faisceau R2 qui est réfracté.

La relation qui prend en fonction de l'angle de faisceau réfracté  $i_2$  et l'angle d'incidence  $i_1$  est :

$$n_1 \times \sin i_1 = n_2 \times \sin i_2 \quad (1.3)$$

### 2.2.3. Loi de la réflexion



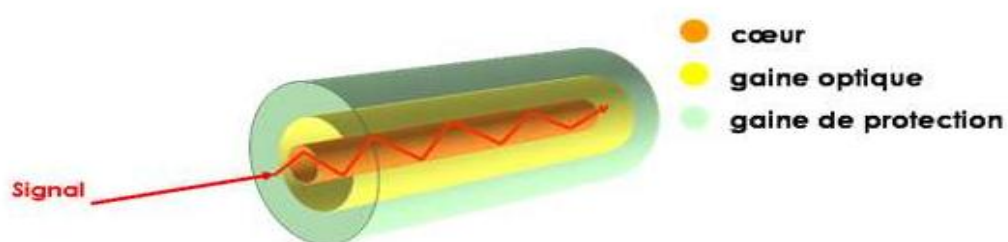
**Figure.5.** La loi de la réflexion

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

Lorsqu'un faisceau est réfléchi son angle  $\theta_1$  est de même valeur que l'angle d'incidence  $\theta_2$ . Ce sont ces deux principes qui permettent de faire circuler la lumière au sein du cœur de la fibre optique. [2]

### 2.3. Structure de la fibre optique

La fibre est un cylindre composé de trois constituants : un cœur, une gaine, et un revêtement de protection. [4]



**Figure. 6.** Schéma principal d'une fibre optique

**2.3.1. Cœur**

Généralement en silice, composé du silicium, il peut aussi être en plastique ou en quartz fondu, la fibre optique utilisée pour la transmission de l'information numérique possède un cœur de silice très pure, C'est à l'intérieur de ce cœur que va se propager la lumière.

**2.3.2. Gaine optique**

Constituée dans les mêmes matériaux que le cœur quelle entoure .la gaine optique de la fibre utilisée dans les télécommunications est donc, comme le cœur, la gaine optique n'étant pas destinée à transmettre la lumière.

**2.3.3. Le revêtement de protection**

Généralement en plastique, il assure la protection mécanique de la fibre optique.il sert également pour la flexibilité de la fibre et facilite sa manipulation. Cette couche extérieure n'intervient pas dans la transmission de la lumière.

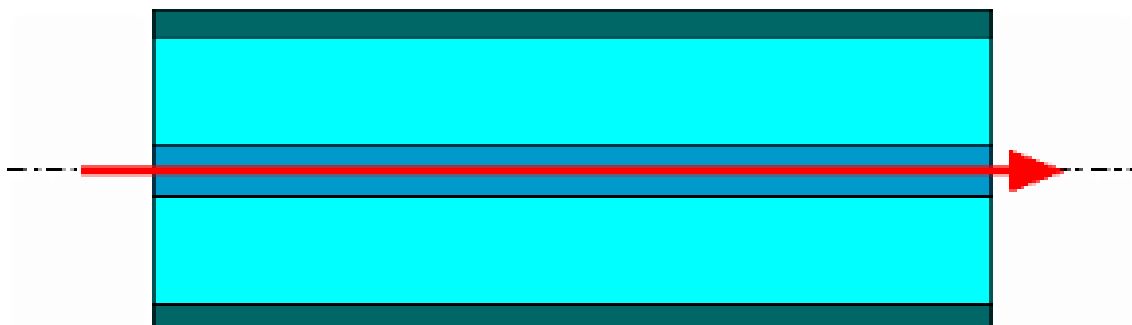
**2.4. Les différent type de fibre optique**

Existe deux types de fibre optique : fibre monomode et fibre multimode.[2, 3,4]

**2.4.1. Fibre monomode**

Le diamètre du cœur est si fin, d'environ  $10\mu\text{m}$ , que les rayons lumineux suivent un seul chemin, et se propagent en ligne droite pratiquement.

Seul inconvénients, le petit diamètre du cœur exige une puissance d'émission élevée, comme des diodes au laser qui sont relativement chères. Pour cette raison les fibres monomodes sont aujourd'hui essentiellement utilisées pour les sites à grande distance.



**Figure.7.**Fibre monomodes

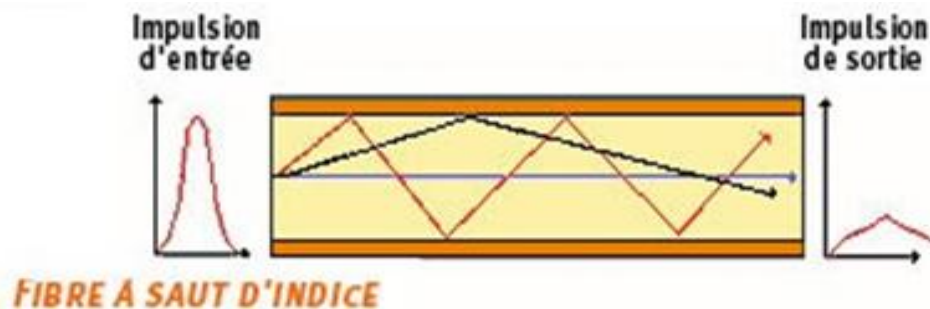
### 2.4.2. Fibres multimodes

Les fibres multimodes ont un cœur de diamètre important, variant de 50 à 200 $\mu\text{m}$ , Ceci empêche la bonne direction du rayon lumineux dans la fibre optique et entraîne plusieurs problèmes. Les fibres multimodes furent les premières fabriquées et elles ne sont actuellement utilisées que pour de courtes distances (une centaine de mètres).

On distingue deux sous-catégories de fibres multimodes : les fibres multimode à saut d'indice et les fibres multimodes à gradient d'indice.

#### 2.4.2.1. Fibre à saut d'indice

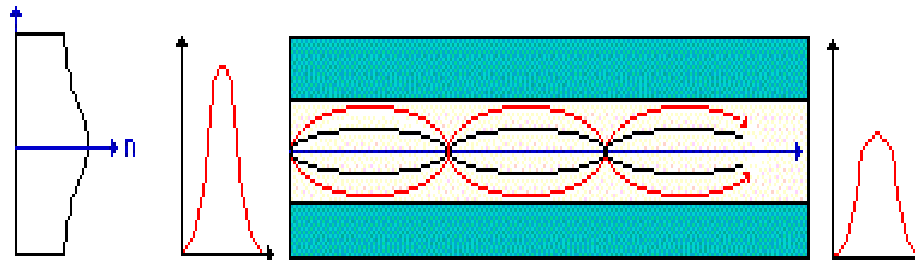
C'est la fibre optique la plus ordinaire, le cœur à un gros diamètre et tous les problèmes sont le décalage entre l'arrivée des rayons lumineux et une atténuation du signal très importante.



**Figure. 8.**Fibre a saut indice

#### 2.4.2.2. Fibres à gradient d'indice

Cette fibre rencontre les mêmes problèmes que la fibre optique à saut d'indice, mais deux améliorations ont été apportées : le diamètre du cœur est de deux à quatre fois plus petit et le cœur est constitué de plusieurs couches à indice de réfraction de plus en plus grand. Ainsi, un rayon lumineux qui ne suit pas l'axe central de la fibre est ramené en douceur vers le centre du cœur de la fibre. et ces améliorations contribuent également à diminuer l'atténuation du signal initial. C'est la fibre à gradient d'indice qui est utilisée sur les réseaux locaux et l'atténuation du signal est beaucoup plus faible que pour une fibre à saut d'indice.



**Figure.9.**Fibre à gradient d'indice

## 2.5. Système de Transmission d'une information par fibre optique

Les systèmes de communication optiques 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]

### 2.5.1. Emission

Pour la propagation d'un signal lumineux à l'intérieur d'une fibre optique, trois types d'émetteurs sont utilisés :

- Les LED (light Emitting diode) ou DEL (diode électroluminescente) qui fonctionnent dans le rouge visible, à la limite de l'infrarouge (850 nm).
- Les diodes à infrarouge qui émettent dans l'invisible à une longueur d'onde de 1300nm.
- Les lasers, utilisés seulement pour la fibre monomode, dont la longueur d'onde est 1300 ou 1550nm. L'intensité du signal lumineux sera modulée en fonction de l'information. En plus d'un de ces types de composants, on rajoutera une lentille chargée de diriger le signal lumineux dans la fibre et Ces dispositifs sont d'une taille minimale.

### 2.5.2. Réception

Les capteurs ou récepteurs utilisés sont :

- Soit une photodiode qui modulera le courant en fonction de l'information lumineuse reçue, dans ce cas il faut associer au capteur un préamplificateur de signal.
- Soit un phototransistor, où le signal lumineux est directement amplifié par le gain en courant.

Les capteurs convertissent en fait 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.

### **2.5.3. 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 (image, son, texte...), elle le sera toujours sous la forme d'une suite de 0 et de 1. 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 au 1 une impulsion lumineuse d'une certaine intensité, le 0 est représenté lui par une absence d'impulsion. Toute information numérique est donc un ensemble de bits, c'est-à-dire de 0 et de 1 c'est le cas des fichiers et applications de nos ordinateurs. Une fois numérisée, l'information sera donc transmise à une vitesse très élevée à l'intérieur de la fibre optique, sous forme de ces nombreuses impulsions lumineuses successives leur sortie ces impulsions s'ajoutant les une 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]

## **3. les méthodes de modulation, la détection, et l'amplification**

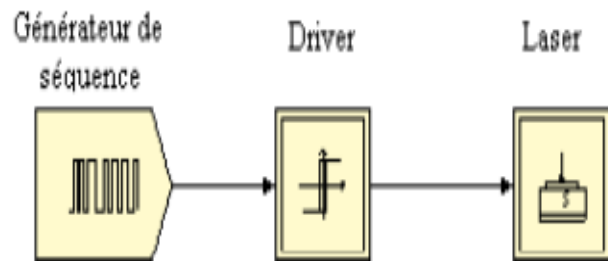
### **3.1. Modulation**

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 deux techniques : la modulation directe et la modulation externe. Le détail de ces deux configurations est donné dans ce paragraphe. [5]

#### **3.1.1. Modulation directe**

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.

Ainsi, il suffit d'inscrire les données sur l'alimentation du laser. Cette solution de modulation directe redemande assez peu de composants: En dehors du laser, seuls un générateur de courant et un driver sont nécessaires. [5]



**Figure.10.** Synoptique de la modulation directe.

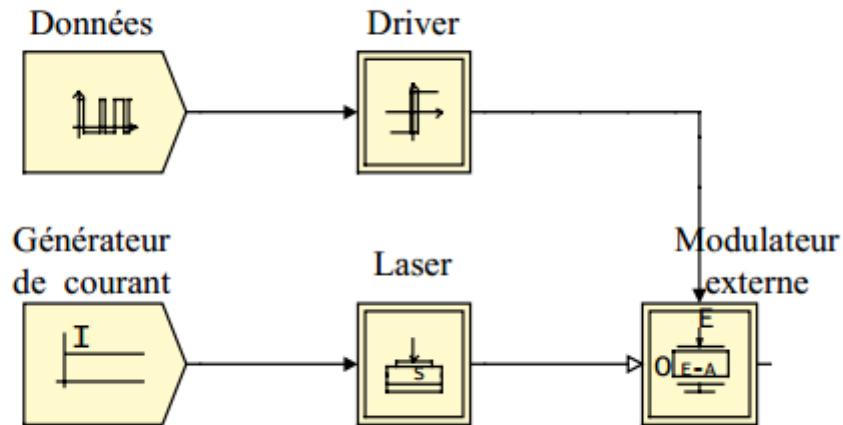
Le premier va émettre à un débit donné (séquence de données). Le rôle du driver est de commander la source optique au niveau des puissances émises (en fixant les valeurs du courant d'alimentation). Pour cela, il modifie, transforme les niveaux du courant issu du générateur. Cette modulation connaît beaucoup 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.

### 3.1.2. 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.

La modulation est effectuée sur une onde pure et constante et par un composant indispensable. 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. [5]



**Figure.11.** Synoptique de la modulation externe.

On conclure que la modulation directe, plus simple et moins coûteuse est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques gigabits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour obtenir une qualité de transmission correcte. Il est aussi à noter que les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts.

### 3.2. La détection

Tout comme il existe plusieurs méthodes pour envoyer l'information sur le media lumineux, il existe différentes techniques pour la récupérer. Le photodétecteur est toujours nécessaire pour convertir le signal optique en électrique. Pour simplifier, il est comparable à un compteur de photons et un générateur d'électron. La première méthode de détection est appelée directe. Elle consiste en la conversion, grâce à une photodiode, des fluctuations de puissance optique porteuses de l'information en fluctuations de courant électrique. D'autres méthodes dites cohérentes (détecteurs hétérodyne et homodyne), dans lesquelles la porteuse optique est modulée en amplitude, en phase ou en fréquence et démodulée dans un détecteur qui réalise une fonction de mélange, seront abordées. [5]

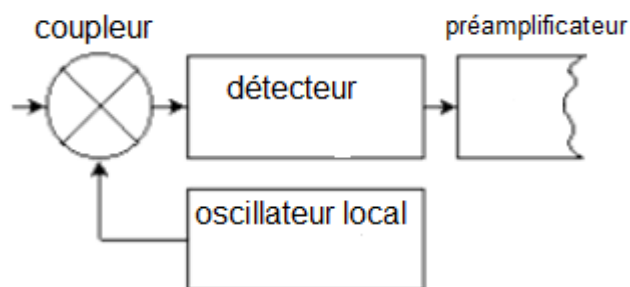
### 3.2.1. La détection directe

Pour extraire le signal qui module en amplitude une onde, on peut le redresser, cela équivaut à 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. Ce procédé est classiquement appelé détection directe. 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 mène d'une part, à l'augmentation du niveau du signal et d'autre part, à une augmentation de la puissance du bruit de grenaille. [5]

### 3.2.2. La réception hétérodyne

A partir des années 1930, on a vu se développer la réception hétérodyne. Le signal reçu ainsi qu'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. [5]

La Figure suivante décrit le schéma de principe du mélangeur hétérodyne, qui constitue le bloc.



**Figure.12.** 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.

### 3.2.3. La réception 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, qui est en fait, un cas particulier de la réception hétérodyne. La réception homodyne apporte un gain de 3 dB par rapport à la réception hétérodyne. En contrepartie, ce type de réception impose des contraintes très importantes sur la pureté spectrale des oscillateurs, qui la rendent beaucoup plus difficile à mettre en œuvre. De plus, il est plus facile de réaliser des sous ensembles (filtre, amplificateur) autour d'une fréquence intermédiaire qu'en bande de base. [5]

### **3.3. Le préamplificateur**

Afin de remédier à la moyenne sensibilité de la photodiode PIN, le photorécepteur est souvent accompagné d'un préamplificateur. Pour minimiser les perturbations (bruit et distorsion) sur les signaux, ces deux blocs sont souvent réunis dans un même boîtier. [5]

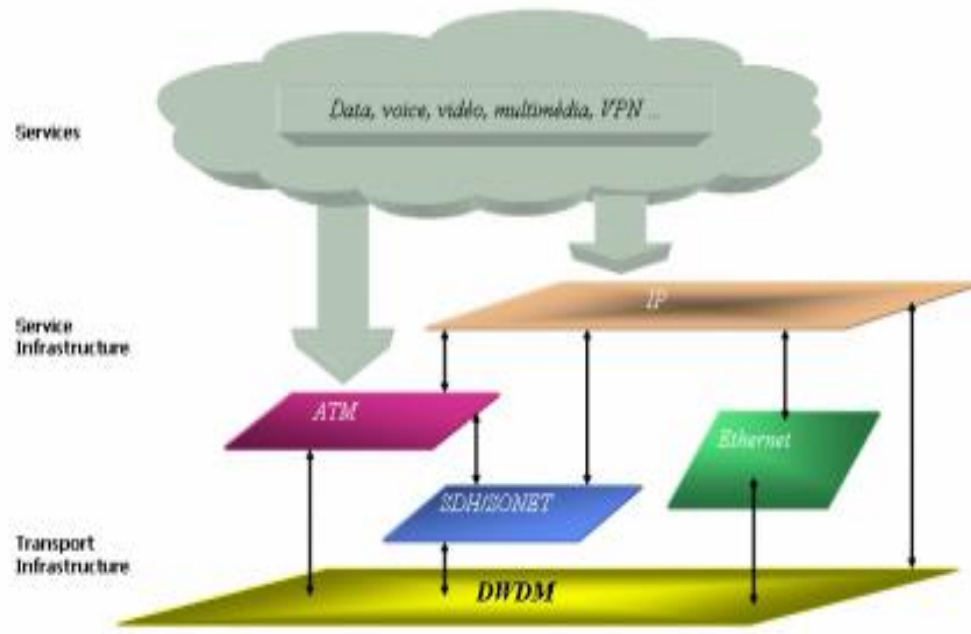
## **4. Communication optique**

La communication optique désigne les télécommunications utilisant des moyens, matériaux ou instruments d'optique. Les applications de la fibre optique au domaine de la communication font l'objet du présent ouvrage. Le but visé est de parvenir à donner une compréhension des principes qui sous tendent les diverses technologies propres à ce domaine précis et de la sorte permettre au lecteur de concevoir de façon pratique des liaisons optiques de différents ordres : liaisons de longue portée, liaisons de faible portée, réseaux locaux et liaisons vidéo. Les systèmes de transmission à haut débit SONET et SDH y sont également présentés. [6]

### **4.1 Les étapes de l'évolution du réseau de transport :**

Un réseau peut être modélisé de la manière suivante Figure.13. :

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



**Figure.13.** Les couches réseaux.

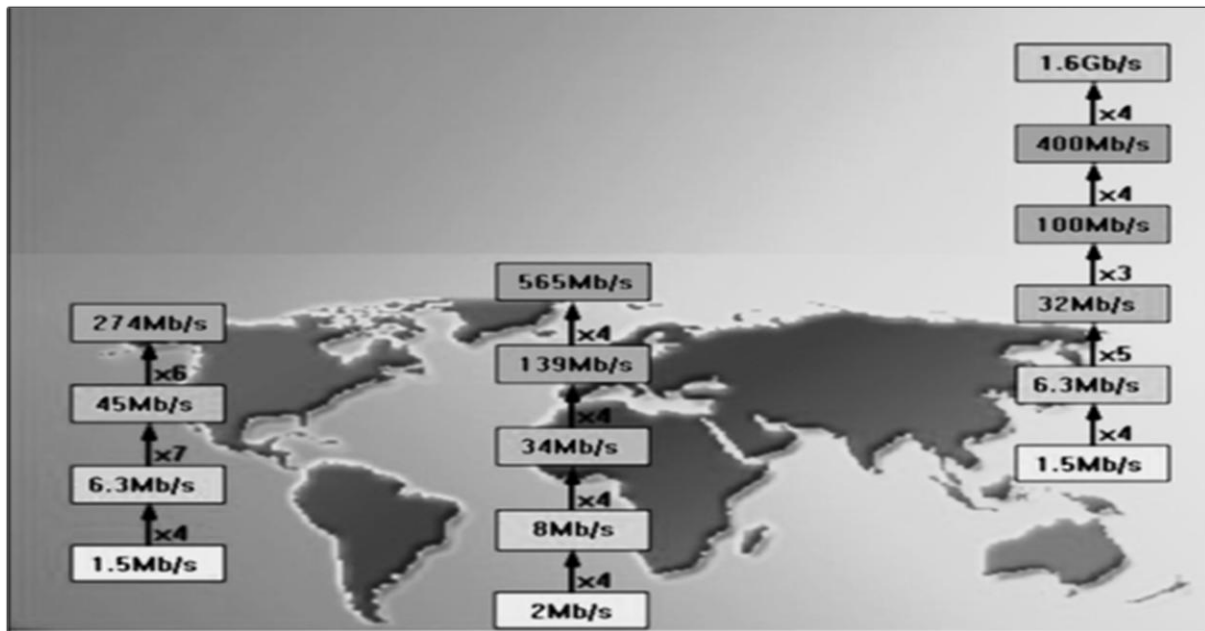
On distingue trois grandes classes de scénarios :

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

#### 4.2.La Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH :

La hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications. Le terme «plésiochrone» vient du grec plesio (proche) et chronos (temps).

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, citons parmi les hiérarchies existantes ces moments-là, la hiérarchie américaine avec 1,5Mb/s, 6,3Mb/s, 45Mb/s, 274Mb/s, ainsi l'europpéenne avec 2Mb/s, 8Mb/s, 34Mb/s, 139Mb/s, 565Mb/s et japonaise avec 1,5Mb/s, 6,3Mb/s, 32Mb/s, 100Mb/s, 400Mb/s et 1,6Gb/s.



**Figure.14.** Les trois hiérarchies existantes du PDH.

#### 4.3.L'arrivée du SDH (SONET)

À la fin des années 80 une nouvelle hiérarchie de transmission appelée SDH (Synchronous Digital Hierarchy), c'est-à-dire la hiérarchie numérique synchrone. Cette hiérarchie de transmission 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 aux principes 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 surmonter les inconvénients du PDH.

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 le 155,520Mbit/s compatible avec le premier ordre de multiplexage des hiérarchies américaines (1544kbit/s) et le premier ordre européen (2048kbit/s).

##### 4.3.1 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, la limitation n'est plus que technologique).
- 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 aux progrès de la technologie que les équipements plésiochrones.

#### **4.4 Passage du SDH vers WDM :**

Le débit transporté dans les réseaux des 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, de nombreux nouveaux techniques de communications optiques à haut débit ont été développés à la fois. L'introduction du multiplexage en longueurs d'onde dans le but d'augmenter les capacités de transmission et d'acheminement mais également la flexibilité et la rentabilité des systèmes conduit de plus en plus à une optimisation des systèmes existants et à une meilleure intégration des systèmes de nouvelle génération et là où 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 ; les composantes d'un réseau définiront comment les longueurs d'onde sont transmises, assemblées, mises sur le réseau.

Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins d'IP et ATM et transporter SDH, PDH (Figure.14.), chacun de ces protocoles peut être associé à une longueur d'onde. [7]

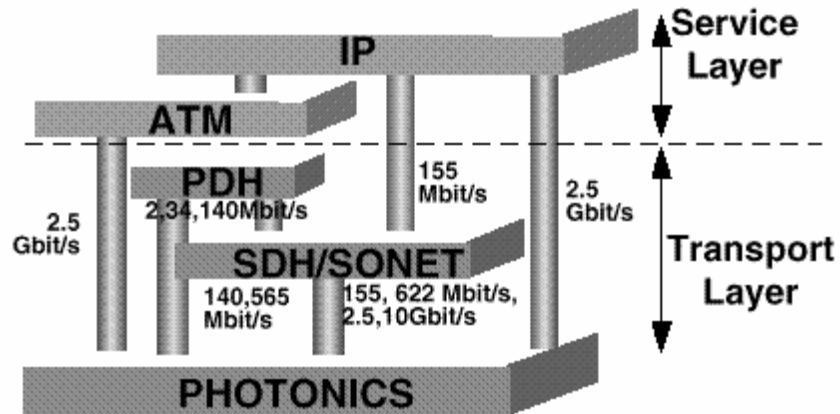


Figure .15.Réseau optique.

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'interfaces spécifiques, la granularité des débits sera plus importante Figure.16. [7]

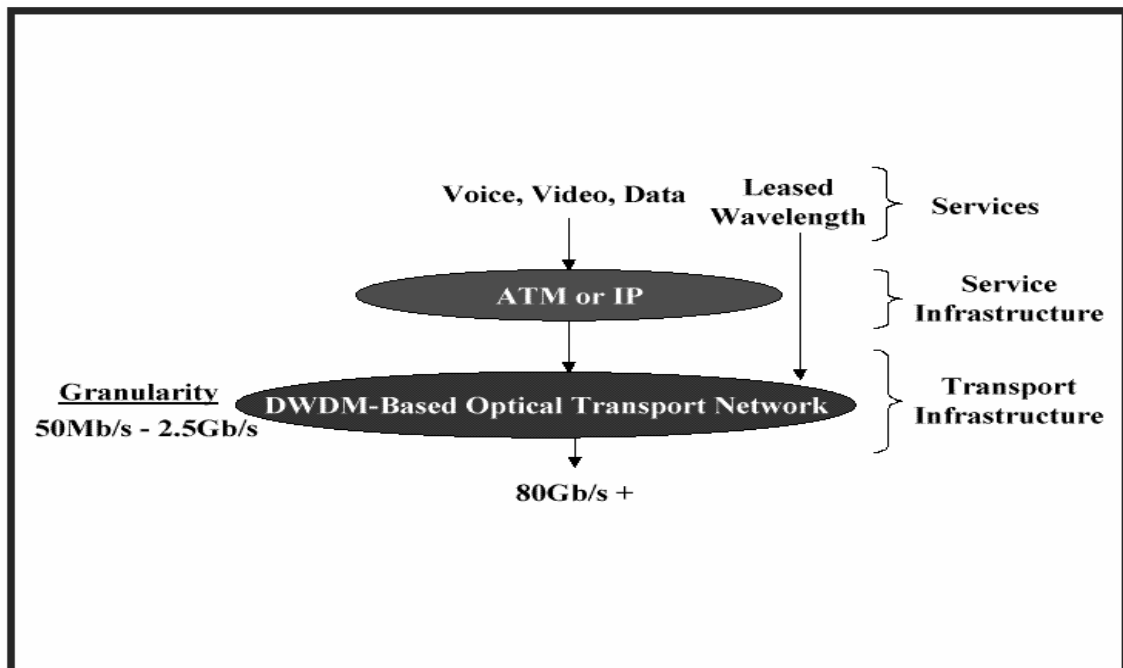


Figure.16.Vers le réseau futur.

**5. Conclusion**

Les interfaces d'accès aux réseaux de transport de données permettent de déterminer les performances du réseau. L'interface dominante pour les hauts débits est depuis de nombreuses années SONET/SDH, qui apporte à la fois des vitesses de transmission importantes et une sécurisation de l'interface. Une autre solution, représentée par OTN, vise à trouver une interface universelle pour accéder à un réseau de fibre optique. C'est pour toutes ces raisons que la fibre optique est depuis de nombreuses années la technologie principale constituant les réseaux longues distances internationaux et nationaux elle est utilisé dans le cadre de réseaux numérique de communication sous marines en raison de son débit et de sa portée bien supérieur aux autres types de câbles .en associant toutes les avantages économiques et de commodité, la fibre optique est une grande évolution dans la transmission d'informations numériques dans le monde.

De nos jours, on remplace des milliers de réseaux à travers le monde et nous sommes totalement dépendants de la fibre optique pour assouvir nos besoins en télécommunication et rien ne peut inverser cette dépendance .les besoins en débits importants se font de plus en plus croissants et seule la fibre optique apporte une solution durable à cette demande.

**1. Introduction**

Le SDH pallie les principaux défauts du PDH (Plésiochrone digital hiérarchie) et supporte des débits très élevés. Elle garantit la transmission dans une même trame des services de types et débit différent (parole, images, communications multimédia, interconnexion des réseaux locaux, mode de transmission ATM).

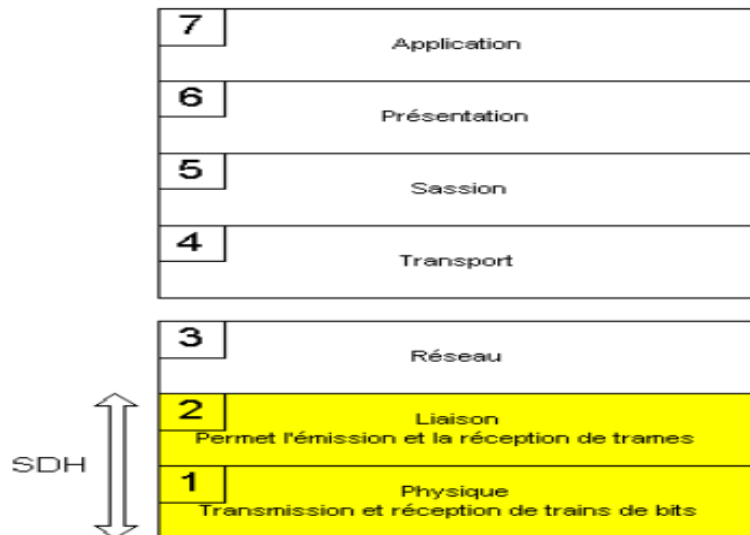
La croissance spectaculaire du trafic Internet oblige les opérateurs de réseau à augmenter la capacité de transmission de leur réseau terrestre en fibre optique, donc Il faudra offrir des capacités de plusieurs Gigabits sur une seule fibre, pour cela Une solution alternative est d'utilisé le multiplexage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

Dans ce chapitre nous illustrons l'infrastructure de transport optique basée sur le SDH et WDM et les principaux composants mis en œuvre et la gestion du chaque réseau SDH.

**2. Systèmes hiérarchiques SDH**

La hiérarchie numérique synchrone conserve une structure de multiplexage, elle améliore les fonctions de maintenance et d'exploitation du réseau, elle simplifie la mise en œuvre et l'interconnexion des réseaux. Outre l'utilisation de sur débits qui consomme inutilement de la bande passante, l'inconvénient majeur de la hiérarchie PDH réside dans l'obligation de démultiplexé complètement le train à haut débit pour reconstituer un lien à 2 Mbit/s.

La SDH se situe sur les deux premières couches du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et débits différents. [8]



**Figure.17.** Situation de SDH dans le modèle OSI.

### 2.1. La trame SDH

Il existe différentes trames en 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 (i.e. synchronisation sur le 8 kHz).

Ce qui nous donne un débit de :

$$2430 \cdot 8 / 125 = 155.52 \text{ Mb/s. (2.4)}$$

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

- ✓ **SOH** : (section overhead) information de transport réservé à l'exploitation.
- ✓ **PTR** : pointeur.
- ✓ **Payload**: Information à transmettre, celle de l'utilisateur (liaison entre 2 commutateurs).



**Figure.18.**Structure de la trame STM-1.

- ✓ La capacité en octets est donc :

$$9 \times 270 = 2430 \text{ octets} (2.5)$$

- ✓ La capacité en bits est :

$$2430 \times 8 = 19440 \text{ bits} (2.6)$$

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.

## 2.2. Principe de fonctionnement

Les signaux à transporter proviennent de liaisons, qui peuvent être synchrones ou asynchrones. Pour un transport plus facile, on les accumule dans un container virtuel VC (Virtual Container), Ce conteneur est transporté dans le réseau de transmission SDH entre le point d'entrée et le point de sortie par un chemin appelé aussi un conduit ("path"), pour cela des bits de gestion appelés POH ("PathOverHead" = sur débit de conduit) sont ajoutés au conteneur. L'ensemble forme un conteneur virtuel :

$$C-n + POH = VC-n (2.7)$$

Les VC-n sont multiplexé dans la trame STM-N avec un système de repérage par pointeur. Il y a différents conteneurs virtuels pour chaque type de signal à transmettre. [9]

### 2.3. Les pointeurs (PTR)

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout 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 mémoires tampons pour synchroniser l'ensemble, mais bien d'indiquer dans une zone mémoire appelée pointeur, l'adresse relative du conteneur par rapport au début de la trame.

Le pointeur a 2 fonctions importantes :

- ✓ Rattraper le déphasage des trames synchrones.
- ✓ Assurer la synchronisation des trames asynchrones. [9]

#### 2.3.1. Principe des pointeurs

SDH utilise des pointeurs et une technique de justification « négative-nulle-positive » pour pouvoir faire flotter les informations utiles dans la trame, ainsi les décalages de phase entre les horloges des équipements sources sont absorbés.

- **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 d'une 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 de l'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 l'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 sur débit.

- ✓ **Justification nulle**

Si le débit d'affluent est égal au débit nominal, aucun décalage n'est fait.

2.4. Les en-têtes

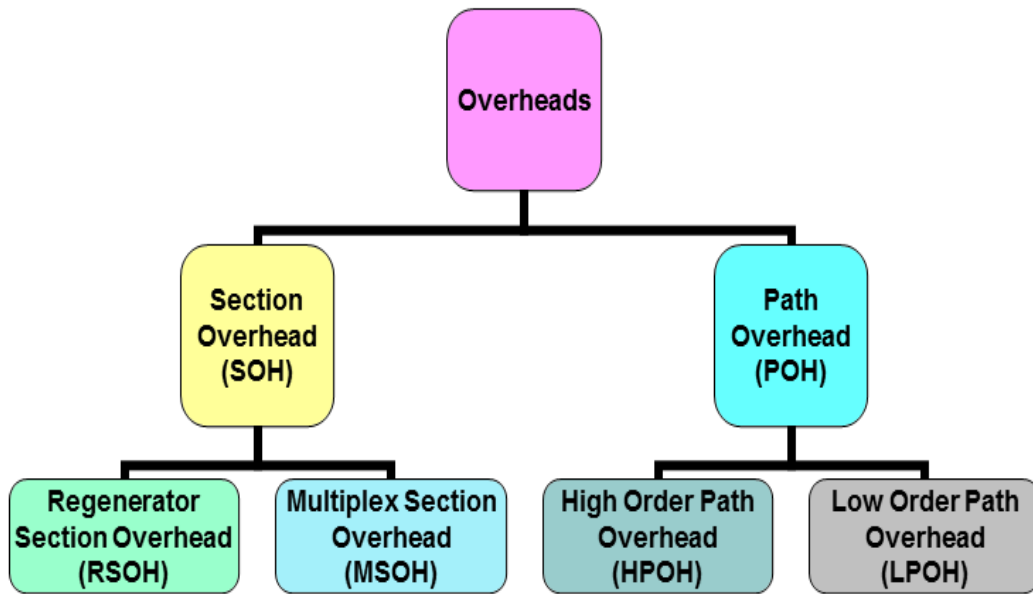


Figure.19. Les en-têtes.

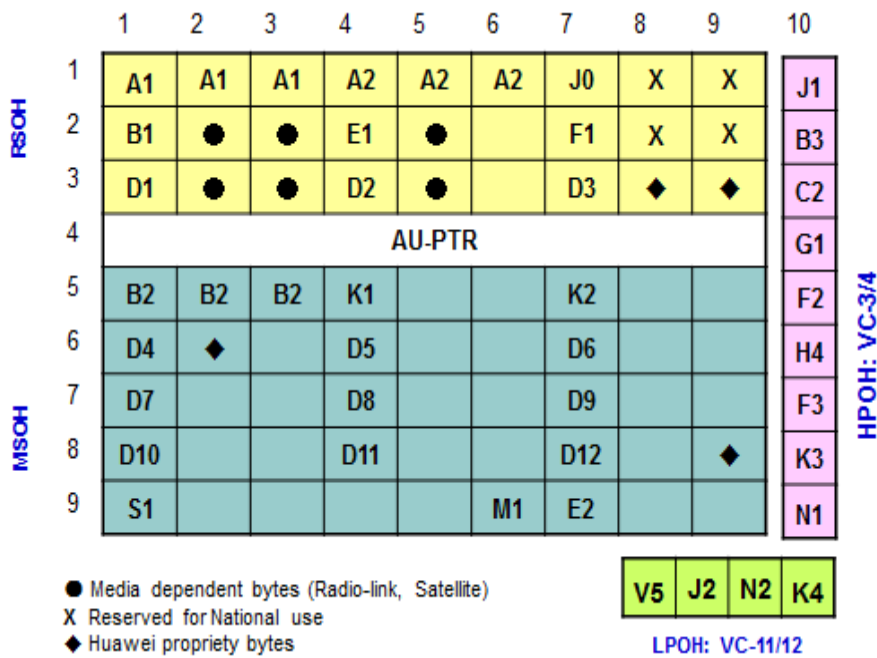


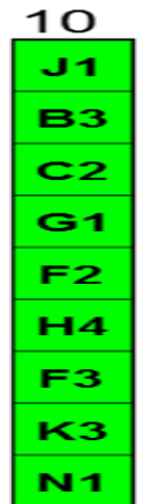
Figure.20. Les octets de POH et SOH.

2.4.1. Le POH (Path over Head)

Un sur-débit de conduit (POH : Path Over Head) 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 contenu sera extrait et interprété à l'autre extrémité du conduit, en sortie du réseau SDH. [9,10]

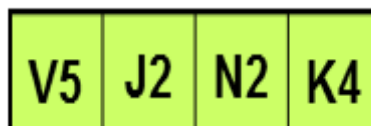
#### 2.4.1.1. HPOH (High Path Over Head)



**Figure.21.**HPOH (High Path over Head).

- J1 : Indicateur de conduit (Path trace)
- B3 : Contrôle de qualité (BIP-8)
- C2 : Etiquette de conduit (signal label)
- G1 : Indications de défauts distants (RDI, REI)
- F2 : Besoins utilisateurs
- H4 : Indicateur de position
- F3 : Besoins utilisateurs
- K3 : Canal utilisé pour la protection automatique de conduit
- N1 : Besoin opérateurs (surveillance de connexion en tandem)

#### 2.4.1.2. LPOH (Low Path Over Head)



**Figure.22.**LPOH (Low Path Over Head).

- **V5** : La vérification d'erreur, et le G1 du VC-12.
- **N2** : Besoins d'opérateurs.
- **J2** : Indicateur de conduit.
- **K4** : Réservé pour les futures utilisations.

**2.4.2. Le SOH (Section Over Head)**

Une section désigne une portion physique de chemin entre deux nœuds. La norme SDH associe à la section un en-tête, le SOH qui contient des 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 sur-débit SOH est partagé entre 2 sur-débits : RSOH et MSOH.[9,10]

**2.4.2.1.RSOH (Regenerator SOH)**

C'est dédié à la gestion des sections de régénération il est donc traité au niveau des répéteur-régénérateurs. Est constitué dans les 3 premières rangées et les 9 premières colonnes de la trame STM-1 comme le montre le tableau suivant. Cet en-tête est utilisé pour gérer le transfert d'informations entre les générateurs et les locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeurs ou DXC).

<b>A1</b>	<b>A1</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>A2</b>	<b>J0</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>B1</b>	●	●	<b>E1</b>	●		<b>F1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
<b>D1</b>	●	●	<b>D2</b>	●		<b>D3</b>		

**Tableau.1.**les réseaux de RSOH.

La signification des octets du RSOH est la suivante :

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

Ou : 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 le trafic, BIP-8 (calcul d’erreur de parité).
- ✓ **E1** : permet une voie de service de 64Kb/s entre deux équipements terminaux de la section de régénération (valide pour STM-1 seulement).
- ✓ **F1** : permet une voie utilisateur à 64Kb/s.
- ✓ **D1 à D3** : permettent un canal de communication de données, à 192 bit/s, affectés à la communication de données d’administration et de contrôle du réseau de la section de génération.
- ✓ **X** : sont des bits réservés pour une utilisation nationale.
- ✓ **●** : sont des octets dont la valeur dépend du media de transmission (transmission radio, satellite).

**2.4.2.2.MSOH (Multiplex SOH)**

C’est dédié à la gestion des sections de multiplexage il est donc traité au niveau des terminaux de ligne. Le sur débit de section de multiplexage est structuré dans les lignes 5 à 9, et des 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 deux locations qui terminent ou routent le trafic (multiplexeurs ou DXC).ces réseaux assurent leur fonction en associant é chaque entité de données de niveau supérieur un en-tête de section de multiplexage (MSOH).

<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>B2</b>	<b>K1</b>			<b>K2</b>		
<b>D4</b>			<b>D5</b>			<b>D6</b>		
<b>D7</b>			<b>D8</b>			<b>D9</b>		
<b>D10</b>			<b>D11</b>			<b>D12</b>		
<b>S1</b>					<b>M1</b>	<b>E2</b>		

**Tableau.2.**Les réseaux de 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, D12** : il est présent un canal de communication 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 576Kb/s.
- ✓ **S1 (Status byte)** : marqueur de qualité de la synchronisation.
- ✓ **M1** : indication d'erreur distante sur la section de multiplexage.

## 2.5. 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). [9]

La hiérarchie SDH de l'UIT-T est récapitulée au tableau suivant :

STM-n	Débits/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.3.** Répertoire des débits de la Hiérarchie SDH.

Les liaisons SDH normalisées sont au nombre de trois, correspondant aux STM-1, STM-4 et STM-16. La trame de base est multipliée par 4 dans le deuxième cas et par 16 dans le troisième. Cela correspond à des débits de 622 Mbit/s et 2,488 Gbit/s (les niveaux OC-12 et OC-48 de SONET).

Les containers virtuels pour ces niveaux sont les VC-4. Le transport de ces containers s'effectue par un multiplexage temporel, comme illustré à la **figure.23**. Dans laquelle 4 trames VC-4 sont découpées et entrelacées octet par octet.

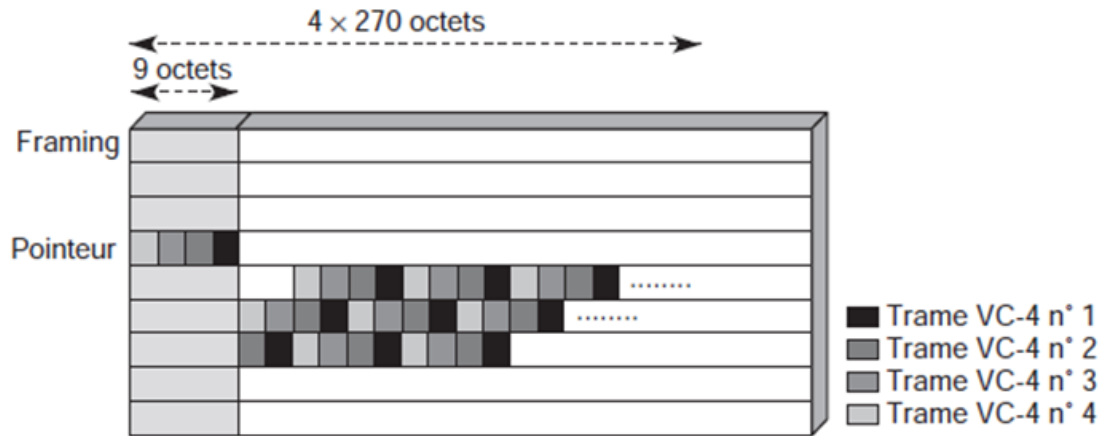


Figure.23. Multiplexage de containers VC-4 sur une trame STM-4.

2.5.1. 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.24.

Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2<sup>ème</sup> niveau, les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM. [9]

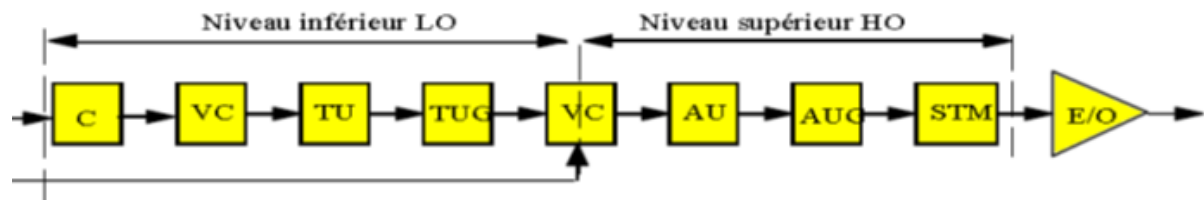


Figure.24. Les niveaux de multiplexage SDH.

Lors du multiplexage SDH, les données sont encapsulés dans des blocs (trames) qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus gros jusqu'à obtenir une trames 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).

2.5.2. Les éléments de la hiérarchie synchrone

- **Le Conteneur**

Le conteneur C<sub>n</sub> est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits. Le "n" de C<sub>n</sub> dépend du débit entrant, par exemple C<sub>4</sub> correspond à 139264kbit/s, le C<sub>3</sub> pour 44736 ou 34368 Kbit/s (selon continent), le C<sub>12</sub> pour 2048kbit/s, le C<sub>11</sub> pour 1544 Kbit/s.

- **L'unité d'affluent TUn**

L'unité d'affluent TUn (Tributary Unit) est composée du VC<sub>n</sub> et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC<sub>n</sub> dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport. Le Groupe d'Unité d'Affluent TUG<sub>n</sub> (Tributary Unit Group) représente une structure virtuelle de la trame permettant le multiplexage de TUn, ce n'est pas une nouvelle entité physique. Il constitue un regroupement de TUn dans un espace réservé d'une entité supérieure, TUG supérieur ou VC<sub>4</sub>. On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TUn dans cette entité supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut ainsi avoir :

- Le TUG 2 regroupant 3 TU<sub>12</sub> ou 1 TU<sub>2</sub>.
- Le TUG 3 regroupant 7 TUG 2 ou 1 TU<sub>3</sub>. **Figure .25.**

- **L'unité administrative AU**

L'unité administrative (Administrative Unit), AU<sub>4</sub>, est composée du VC<sub>4</sub> et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC<sub>4</sub> dans la trame transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC<sub>4</sub> dans la trame. Le Groupe d'Unité Administrative, AUG, représente une structure virtuelle de la trame et pas une nouvelle entité physique. AUG correspond à la place que doit occuper l'AU<sub>4</sub> dans la trame de transport utilisée.

Les trames de transport STM<sub>n</sub> (Synchronous Transport Module) sont obtenues en multiplexant n AUG (et non n STM<sub>1</sub>) et en rajoutant un sur débit dit Sur débit de Section SOH (Section OverHead). La trame de Base STM<sub>1</sub> (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM<sub>4</sub> (622,080Mbit/s) contenant 4 AUG et son SOH, la trame STM<sub>16</sub> (2488,320Mbit/s) contenant 16 AUG et son SOH. **Figure.25.**

### 2.5.3. La Structure de Multiplexages

Il s'agit de recevoir et de grouper des flux de données fournis par des affluents pour les transporter. [9]

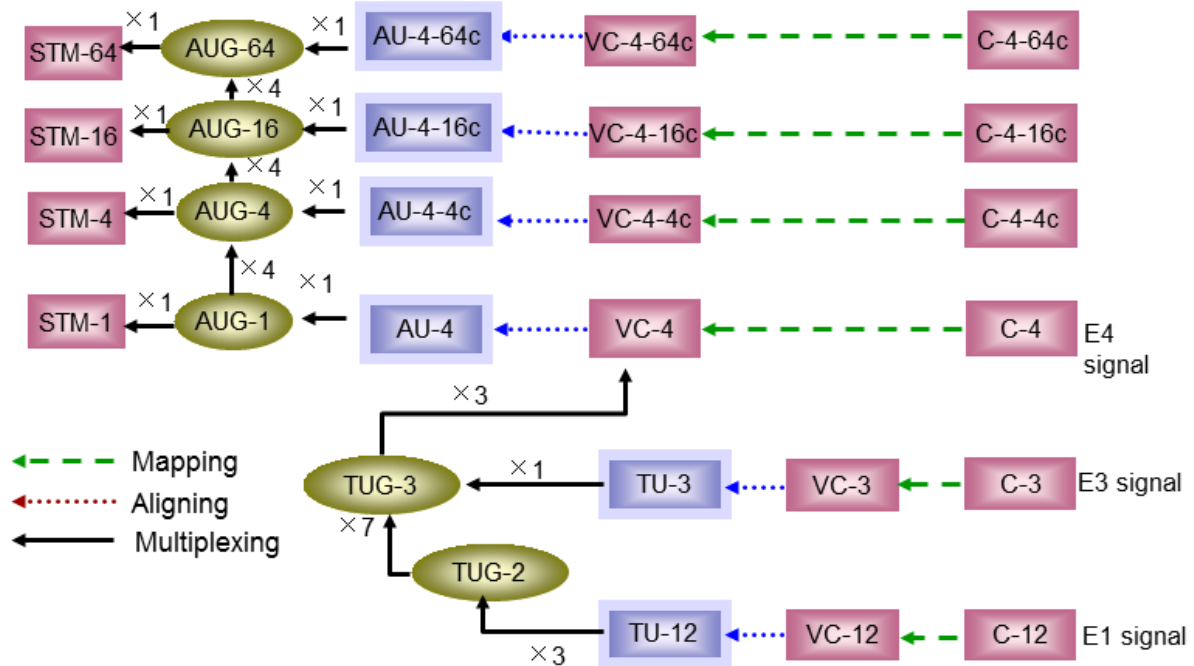


Figure.25. Structure de multiplexages SDH.

- **Projection (Mapping) :** Un processus a employé quand des tributaires sont adaptés dans VCs en ajoutant les bits de justification et l'information de POH.
- **Alignement (Aligning) :** Ce processus a lieu quand un indicateur est inclus dans une unité tributaire (TU) ou une unité administrative (AU), pour permettre au 1er byte du VC d'être localisé.
- **Multiplexage (Multiplexing) :** Ce processus est employé quand des signaux multiples d'ordre réduit du trajet sont adaptés dans un signal d'ordre évolué du trajet, ou quand des signaux d'ordre élevé du trajet sont adaptés dans une section multiplex.

## 2.6. Le réseau SDH

### 2.6.1. 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 optique **Figure.27**. Ces équipements assurent les différentes tâches attribuées à un réseau SDH comme extraction/insertion, brassage, régénération.[7]

- **Les multiplexeurs d'accès :** permettent 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 ( $E \leftrightarrow W$ ) tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion de sous-débit.
- **Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross 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.

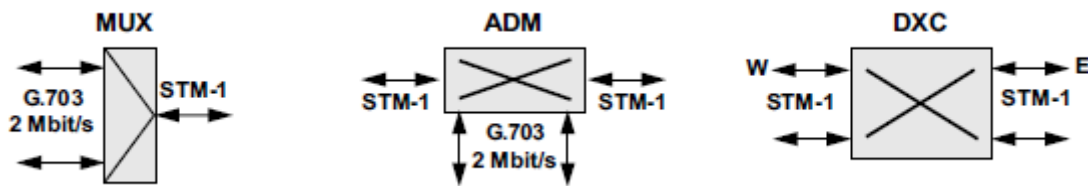


Figure.26. Les équipements mis en œuvre dans un réseau SDH.

### 2.6.2. Les Topologies du réseau

Un réseau SDH est un ensemble d'éléments réseau (ADM, TM...etc.) interconnectés entre eux par un câble à fibres optiques. Une topologie réseau est une structure géométrique des éléments réseaux et les 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'autre topologie point à point ou en bus. [9]

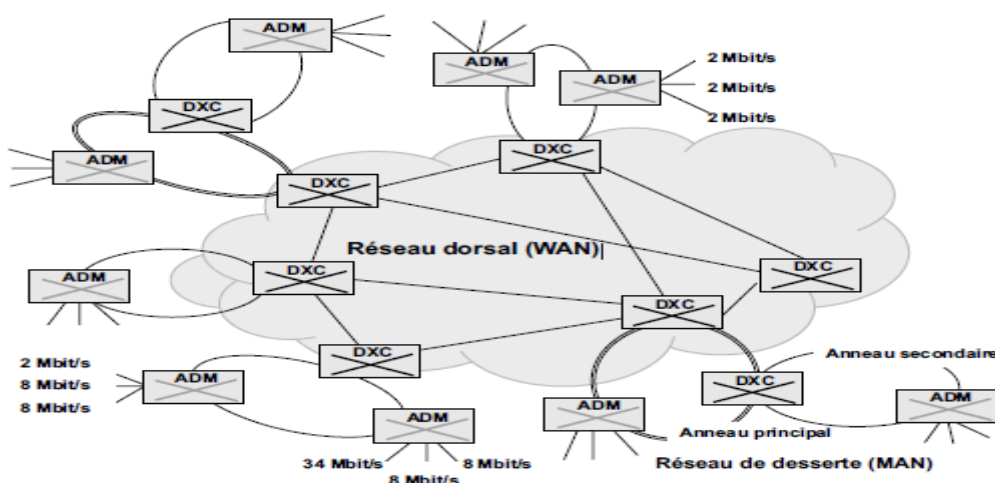


Figure.27. Infrastructure du réseau SDH.

**DXC :** Les brasseurs numériques (Digital Cross Connect).

**ADM:** Les multiplexeurs insertion - extraction (Add-Drop).

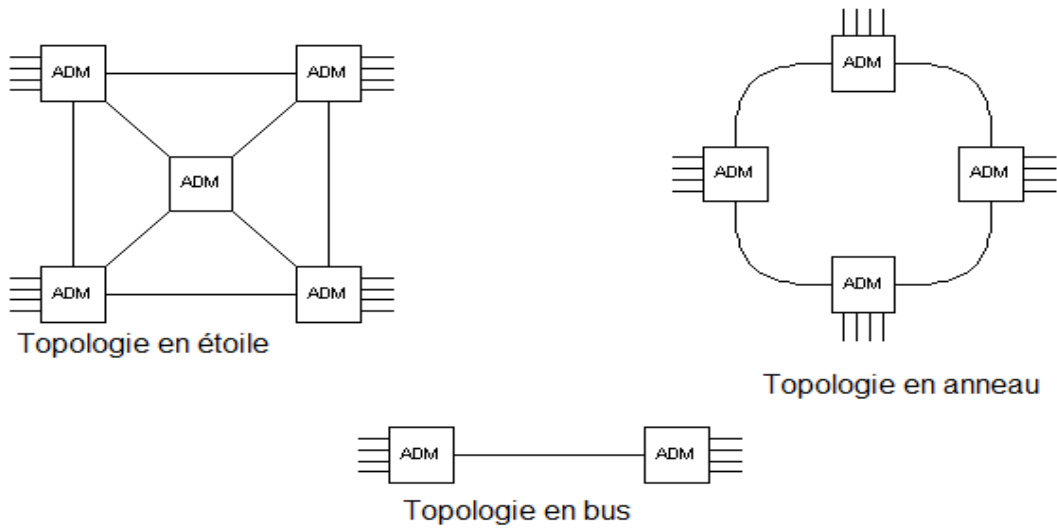


Figure.28.Les différentes Topologie.

### 3. Le multiplexage en longueur d'onde WDM

#### 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. [11]

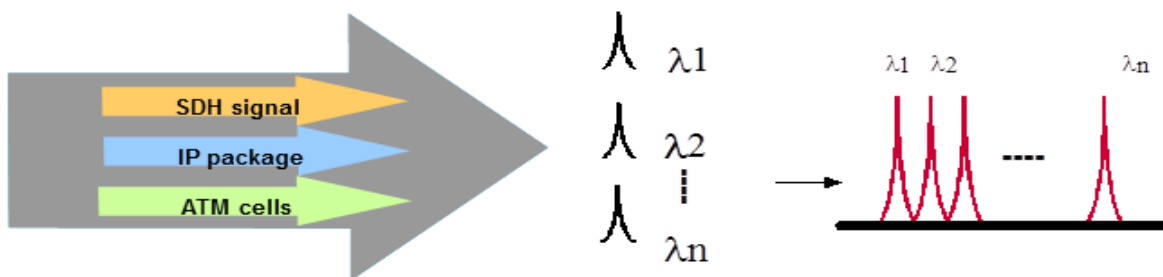


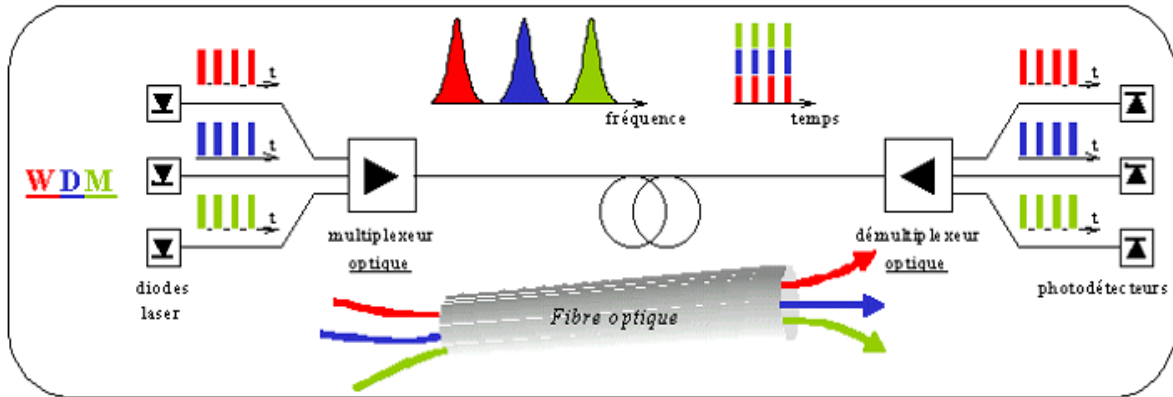
Figure. 29. WDM concept.

#### 3.2. Description de WDM

L'utilisation du multiplexage WDM nécessite un ensemble de diodes laser émettant à des 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. [12,13]

La **Figure.30.** Représente un exemple d'une liaison utilisant le multiplexage WDM.

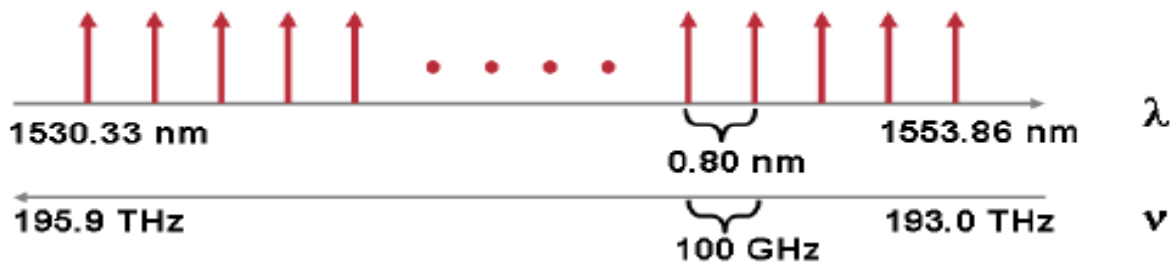


**Figure. 30.** Schéma de principe du multiplexage WDM.

Afin d'assurer une bonne qualité de transmission du multiplex dans la fibre, il est important de déterminer l'espacement minimum à respecter entre les longueurs d'onde émises par chacune des sources. Cette grandeur dépend de plusieurs choses : qualité de la fibre, qualité des multiplexeur/démultiplexeur, longueur de transmission, qualité des sources, débit des données de chaque source. La fibre optique transporte alors un débit numérique égal à  $N * D$ . Cette dernière est souvent définie comme la capacité du système.

La norme ITU-T G692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm. L'espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes est de 1,6 ou 0,8 nm.

Le peigne de fréquence dans les réseaux WDM est présenté dans la **Figure.31.**



**Figure.31.**Peigne des fréquences en WDM.

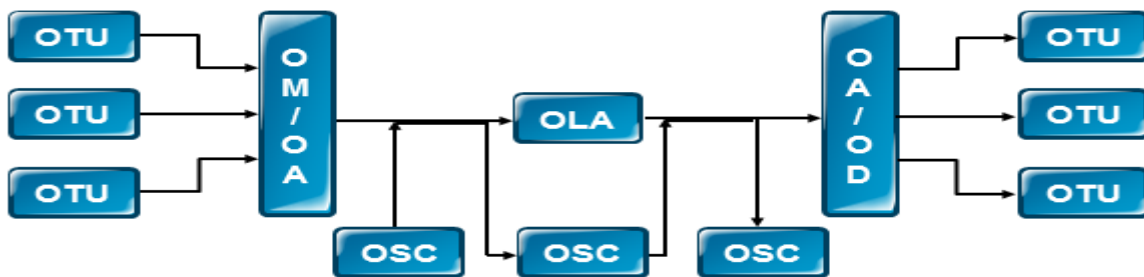
### 3.3. Application de WDM

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\*10Gbits/s, 16\*10Gbits/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, envoyer N 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 1nm, le terme de DWDM (Dense WDM) est maintenant utilisé. En effet, avec l'apparition, sur le marché, de lasers accordables de très bonne qualité, l'espacement entre les longueurs d'onde a pu être progressivement réduit, et est descendu à 0,8 nm ou 0,4 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". [13]

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.

### 3.4. Structure du système WDM



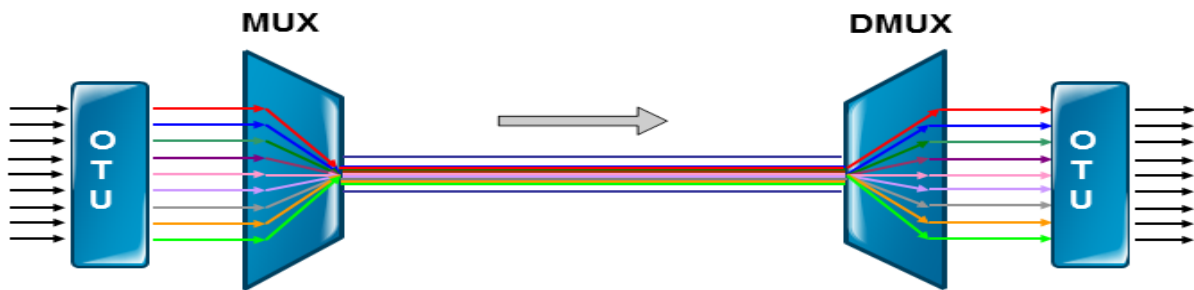
**Figure.32.**Structure de système WDM.

- OTU (Optical Transponder Unit) : La réception des services clients et les convertir en un signal WDM normalisé.
- OM (Optical Multiplexer): multiplexeur des services de différente longueur d'onde.

- ODU (Optical De-multiplexer Unit): Démultiplexeur des services.
- OA (Optical Amplifier): Amplificateur optique.
- OLA: Amplificateur de ligne.
- OSC (opticalSupervisory Channel): Canal de supervision optique.
- ESC (electricalSupervisory Channel): Canal de supervision électrique.

### 3.5. Modes de transmission de WDM

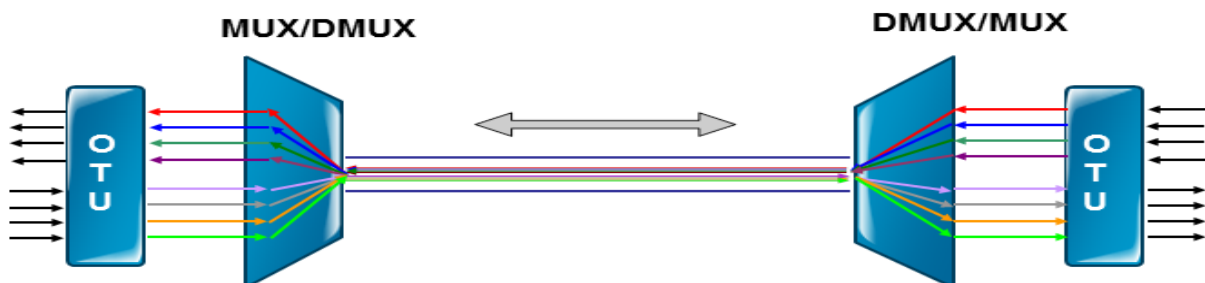
#### 3.5.1. Transmission unidirectionnelle



**Figure. 33.** Transmission unidirectionnelle.

Le système WDM unidirectionnelle adopte deux fibres optiques, un implémente que la transmission de signaux dans un sens, et l'autre met en œuvre la transmission des signaux dans la direction opposée, Largement utilisé dans le monde entier. [11,12]

#### 3.5.2. Transmission bidirectionnelle



**Figure. 34.** Transmission bidirectionnelle.

Le système WDM bidirectionnel onde utilise une seule fibre optique, la fibre transmet des signaux optiques dans les deux directions simultanément, et les signaux dans les différentes directions devraient être attribués en longueurs d'onde différentes, ce mode est généralement utilisé dans le système CWDM pour réduire le coût.

**3.6. CWDM et DWDM**

Les réseaux WDM peuvent être classés selon l'espacement entre les longueurs d'onde utilisées. Les premiers réseaux WDM, dits réseaux WDM large bande, utilisent deux longueurs d'onde très éloignées typiquement à 1310 nm et 1550 nm. On distingue également le DWDM (Dense WDM) qui est une technologie utilisée dans les réseaux dorsaux où jusqu'à 40 voire 80 longueurs d'onde sont combinées dans la même fibre. Le troisième type de réseaux WDM, appelé CWDM pour (Coarse WDM), offre jusqu'à 18 longueurs d'onde au total entre 1270 nm et 1610 nm, soit un espacement de 20 nm entre les canaux. Contrairement aux deux premiers types, le CWDM est destiné aux réseaux métropolitains.

UIT a standardisé l'utilisation des longueurs d'onde. Le standard G.692 définit l'espacement des canaux pour le système DWDM à 50 GHz ou 100 GHz autour de la fréquence référence de 193 THz correspondant à environ 1550 nm.

Technologie	Caractéristique	Applications
DWDM (Dense)	Espacement < 0,8 nm  80λ	Longue distance  >100 km
CWDM (Coarse)	Canaux de 20 nm  La température du laser n'est pas contrôlée  16λ	Man  < 70 km

**Tableau.4.** Comparaison entre le CWDM et DWDM.

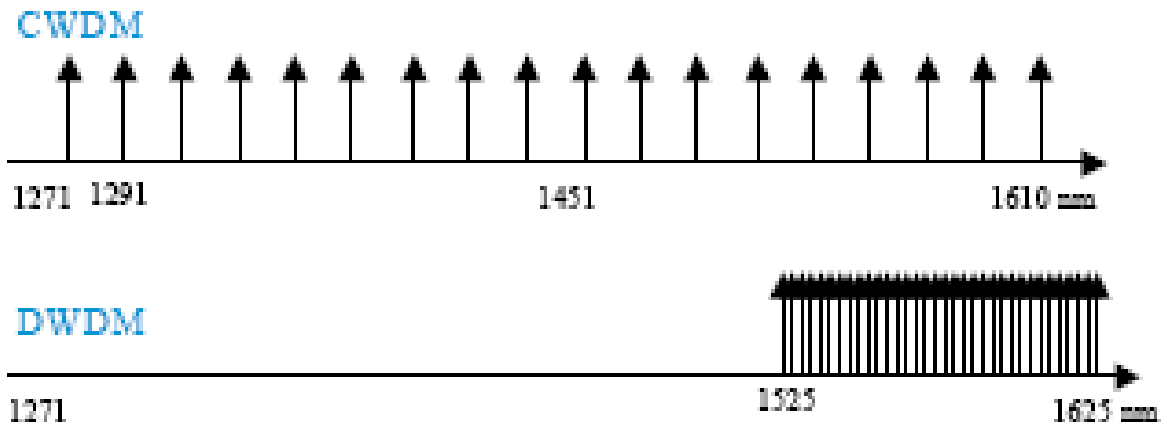


Figure. 35. Peigne des longueurs d’onde en CWDM, DWDM.

### 3.7. Clés Technologique du Système WDM

Dans cette partie, nous énumérerons les principaux composants optiques qui interviennent dans la mise en œuvre des réseaux de communications optiques. [11,13]

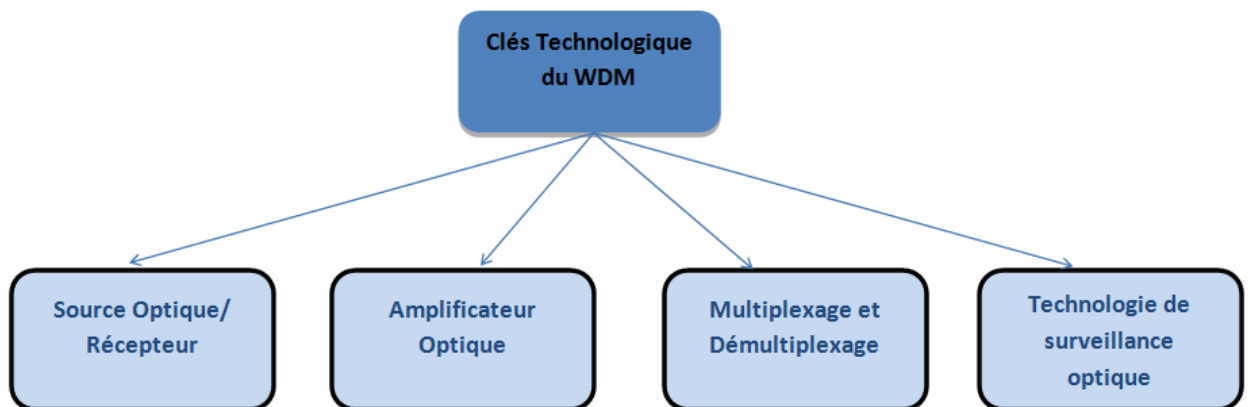


Figure.36.Clés technologique du système WDM.

#### 3.7.1. Source optique

Les émetteurs optiques permettent de convertir le signal électrique à une forme optique et de l’envoyer à travers la fibre optique. Ils contiennent un composant optoélectronique d’émission (diode laser DL ou diode électroluminescente DEL), un modulateur dépendamment de l’application : modulateur externe ou modulation directe du courant d’injection. La puissance émise par les émetteurs est un paramètre important dans la

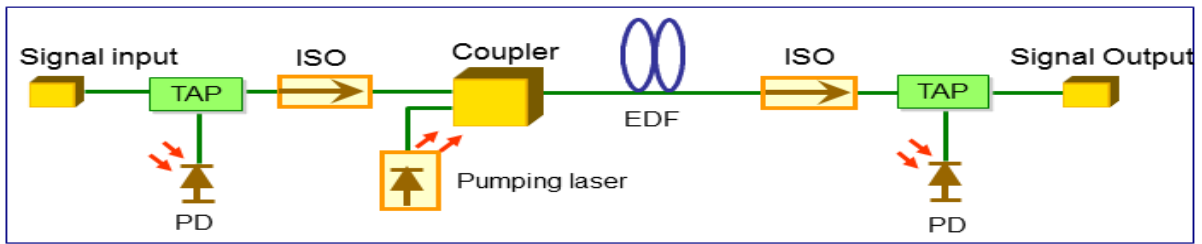
conception d'une liaison. En effet, on peut augmenter l'espacement entre les amplificateurs en augmentant la puissance de lancement.

### 3.7.2. Récepteur

La fonction d'un récepteur dans un système de transmission optique est de détecter un signal lumineux, c'est-à-dire de le convertir en signal électrique. Deux techniques de détection sont utilisées. La détection directe est réalisée par une diode photosensible qui convertit un flot de photons en un flot d'électrons. Le courant électrique résultant est ensuite amplifié puis soumis à un test de seuil pour déterminer si l'information logique est un bit 1 ou un bit 0. Une alternative est la détection cohérente qui utilise un laser auxiliaire comme oscillateur local. Une photodiode reçoit alors un signal issu de la combinaison des deux signaux laser, qui est plus facile à détecter. Ce système est certes plus complexe et plus coûteux, mais présente l'avantage de permettre la détection de signaux faibles.

### 3.7.3. Les amplificateurs optiques

Les amplificateurs optiques en lignes sont nécessaires sur les liens en fibre optique entre les nœuds du réseau. Ils sont placés à des distances régulières. La distance entre les amplificateurs est appelée pas d'amplification (amplifier span) et elle dépend du type de fibre. Un amplificateur augmente le niveau de puissance du signal WDM. L'amplificateur le plus utilisé actuellement est l'amplificateur à fibre dopée à l'Erbium (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA), sa représentation est donnée sur **la figure.37**. L'un des grands avantages des amplificateurs optiques est qu'ils sont capables d'amplifier les signaux sur plusieurs longueurs d'ondes simultanément. Ceci est une nouvelle méthode pour augmenter la capacité d'un système : plutôt que d'augmenter le débit, il est possible de le garder constant et d'utiliser plus qu'une longueur d'onde. L'utilisation des amplificateurs optiques dans les réseaux WDM a considérablement diminué le coût des systèmes de transmission optiques en éliminant les régénérateurs électriques. En effet, à chaque position d'un régénérateur, un seul amplificateur optique pourrait remplacer tout un ensemble de régénérateurs. De plus, l'amplification permet aux signaux de parcourir plus de distance.



- ISO : Isolateur.
- PD : Photon Detector.

Figure.37. Structure de l'amplificateur EDFA.

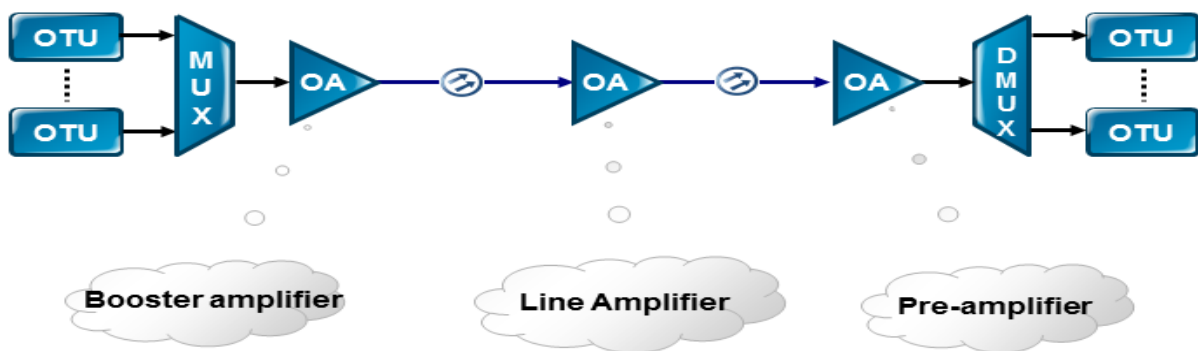


Figure.38. Application des amplificateurs optiques.

Les amplificateurs placés à intervalles réguliers peuvent être de 3 types :

- **R (Booster Amplifier)** : « régénération » : amplification seule.
- **2R (Line Amplifier)** : « régénération-reshaping » : amplification et remise en forme.
- **3R (Pre-amplifier)** : « régénération-reshaping-retiming » : amplification et remise en forme et synchronisation.

### 3.7.4. Multiplexage et démultiplexage

Utilisés pour grouper ou séparer les voies de longueurs d'onde différentes, les multiplexeurs /démultiplexeur jouent un rôle primordial dans WDM.

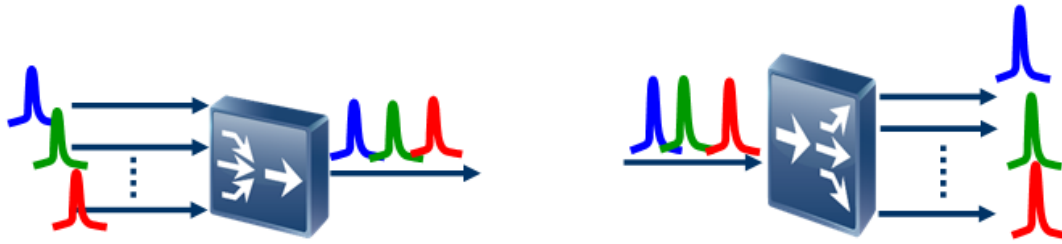


Figure.39. Multiplexeur/Démultiplexeur optique.

### 3.7.4.1. Les technologies de multiplexages

On distingue trois techniques de multiplexages:

- Multiplexage à filtre optique.
- Multiplexage à coupleurs sélectifs.
- Multiplexage à réseau de diffraction.

#### 3.7.4.1.1. Multiplexage à Filtre Optique

Les filtres permettent la séparation spectrale en réfléchissant certaines gammes de longueurs d'onde et en transmettant les autres. En effet Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. D'autre part Le multiplexage optique regroupe les signaux occupant des gammes de longueurs d'onde différentes tandis que la fonction réciproque, le démultiplexage permet de séparer des signaux occupant des bandes de longueurs d'onde différentes.

On caractérisera le filtre par sa bande passante, c.à.d. le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il laisse passer la lumière, et sa bande atténuée c'est-à-dire le domaine de longueur d'onde dans lesquelles il réfléchit la lumière incidente.

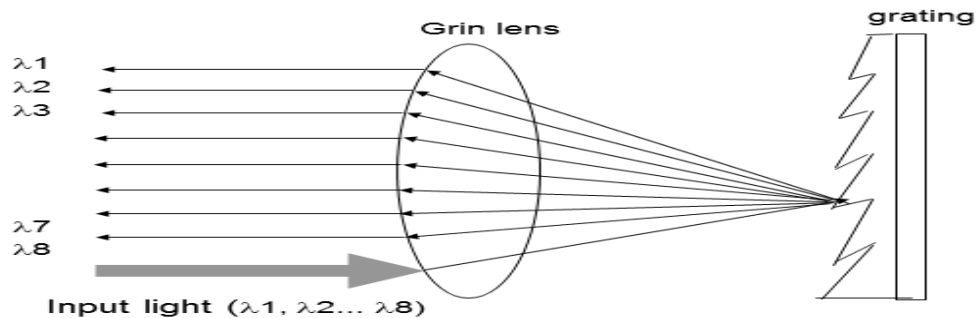
#### 3.7.4.1.2. Multiplexage à Coupleurs Sélectif

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

#### 3.7.4.1.3. 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. Un réseau 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 à 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.



**Figure.40.** Multiplexage à réseau de diffraction.

- Grating : grille,
- Lens : cristallin,
- input light : signal entrée.

### 3.7.4.2.OADM( Optical Add Drop Multiplexer)

Les multiplexeurs d'insertion et d'extraction OADM (Optical AddDrop Multiplexeurs) sont des dispositifs optiques qui peuvent être utilisés pour effectuer les opérations d'insertion et d'extraction des différentes longueurs d'onde dans la fibre optique entre l'émetteur et le récepteur.

#### 3.7.4.2.1. Principe de Fonctionnement d'OADM

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'onde 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).

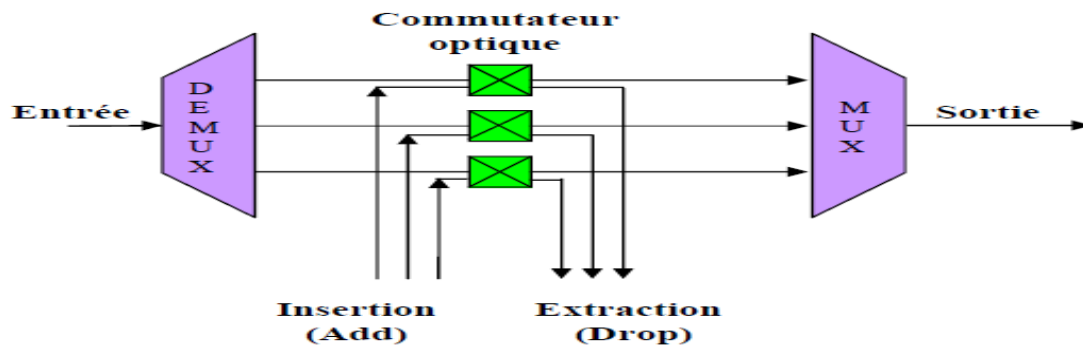


Figure.41. Principe d'OADM.

### 3.7.5. Technologie de surveillances optique

#### 3.7.5.1. Canal de supervision optique OSC

Sur une longueur d'onde spécifique à 1510 nm transporte des informations de suivi et de contrôle, des carreaux de données vers les (multiplexeurs, routeur...), constituant un réseau de signalisation distinct pouvant en particulier acheminer la signalisation du GMPLS.

Ces informations sont mises sous forme de paquets et sont structurées sur 3 niveaux (OCH, OMS, OTS).

#### Exigences:

- Longueur d'onde de fonctionnement devrait être différente de la longueur d'onde de pompage de l'OA.
- Longueur d'onde de fonctionnement ne devrait pas prendre fenêtré 1310nm.
- Appropriée pour la transmission longue distance.
- **FIU** : le multiplexage du signal WDM et le signale de supervision.

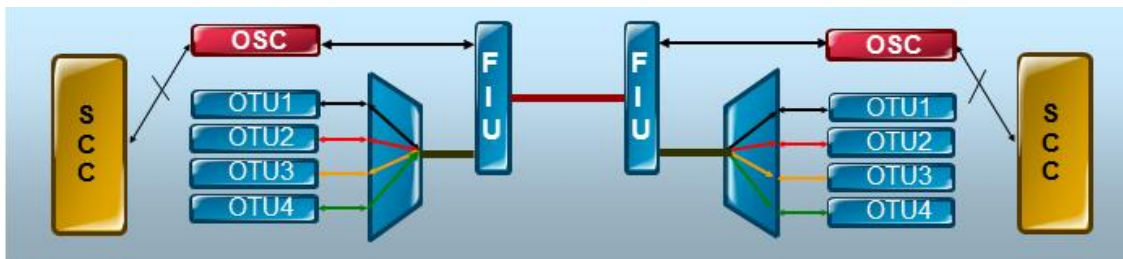
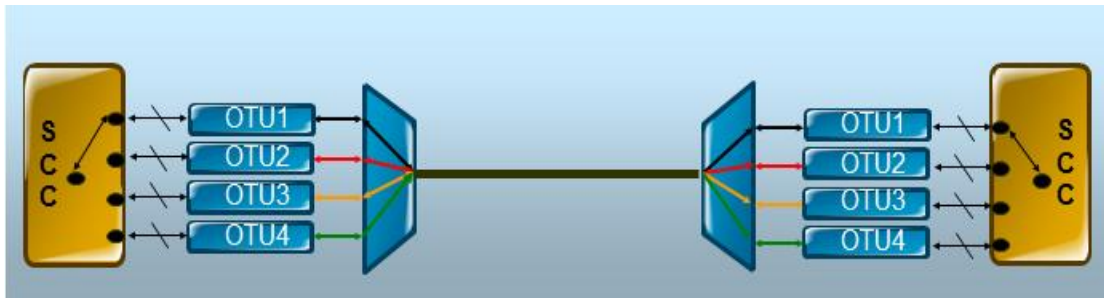


Figure.42. La supervision optique.

### 3.7.5.2. Canal de supervision électrique ESC

#### Caractéristiques:

- Structure simple et réduction des coûts.
- Réduire la complexité du système.
- SCC : carte système qui gère la supervision électrique.



**Figure.43.** la supervision électrique.

L'unité de transpondeur optique (OTU) multiplexe les informations de contrôle dans le canal de service pour la transmission.

L'ESC réduit l'investissement de l'OSC. Elle supprime également la perte d'insertion de la FIU. Cela réduit le coût et le budget de puissance de canaux optiques.

## 4. Conclusion

La capacité des systèmes de transmission à multiplexage en longueur d'onde (WDM) à 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 techniques en cours de développement vont permettre à priori de multiplier encore plus les capacités des systèmes optiques.

## **1. Introduction**

Comme la technologie des composants optiques a avancé, il est devenu plus économique de transmettre de multiples signaux SONET / SDH sur la même fibre en utilisant WDM.

L'UIT-T a défini un réseau de transport qui a été optimisé par rapport au coût-efficacité des transports transparents d'une variété de signaux des clients sur les réseaux WDM.

L'UIT-T a développé un ensemble de nouvelles normes couvrant les longueurs d'onde et les formats de signaux afin de mieux soutenir le multiplexage d'un nombre important de signaux sur une seule fibre. La nouvelle génération du NG-WDM est basée sur les technologies suivantes : l'OTN la cross-connexion optique, (ROADM) la cross-connexion électrique, et l'ASON. Dans ce chapitre on va voir chacun de ces technologies en détail.

## **2. Présentation de l'OTN (Open Transport Network)**

OTN (OpenTransport Network) est un système de transmission sur fibre optique ouvert, L'architecture du réseau OTN est constituée de nœuds avec de multiples interfaces physiques. OTN permet la création de réseaux industriels qui fédèrent des communications de type voix, vidéo, audio, données..., La transmission de ces différentes informations est transparente dans le réseau, donc automatique offre une sécurité et une haute disponibilité dans des environnements difficiles. OTN est la solution idéale pour les environnements mixtes qui sont trouvés dans de nombreux réseaux étendus exemple dans l'environnement de transport de métros, de systèmes d'autoroutes, les mines et les aéroports, ainsi que l'huile, le gaz ou l'eau, dans des réseaux de distribution d'électricité et des industries pétrochimiques et chimiques.[14]

### **2.1. Définition d'OTN**

Open= un réseau à couverture d'esprit capable de traiter toute interface existante ; n'importe quelle application peut être utilisée dans un réseau ouvert.

Transport=ce réseau transporte différents types de communication comme utilisée dans notre entourage habituel, par exemple la téléphonie (numérique et analogique), donnée, vidéos et Ethernet (LAN, Gigabit Ethernet), toute ensemble et de façon entièrement transparente sur une fibre et sans la moindre interférence.

Network= un réseau de transmission par fibres optiques, à l'épreuve de l'avenir, sur des distances virtuellement illimitées.

2.2. L'interface OTN

La norme SONET/SDH a été introduite pour transporter de la parole téléphonique, et il a fallu de nombreuses adaptations pour le transport des trames et paquets de type IP, ATM ou autres. Le successeur de SONET/SDH a été mis en chantier et normalisé début 2002 par l'UIT-T sous le nom d'OTN (Optical Transport Network). Son rôle est de faire transiter des paquets sur des liaisons à 2,5, 10 et 40 G bit/s. [15]

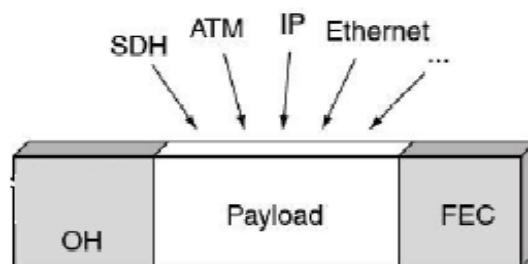


Figure.44. Format de la trame synchrone OTN.

Le format de trame OTN est une matrice 4x4080 comme le montre la figure suivante :

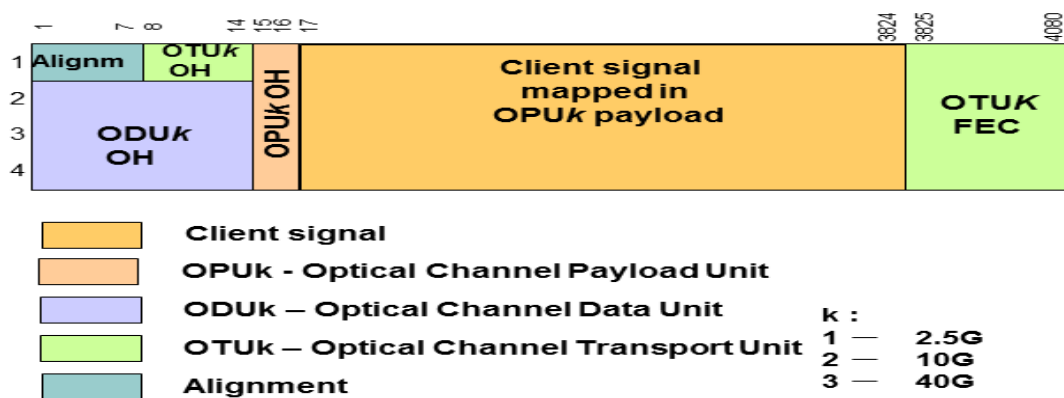


Figure. 45. Structure de la trame OTN

Parmi les 4080 octets, les octets dans les colonnes :

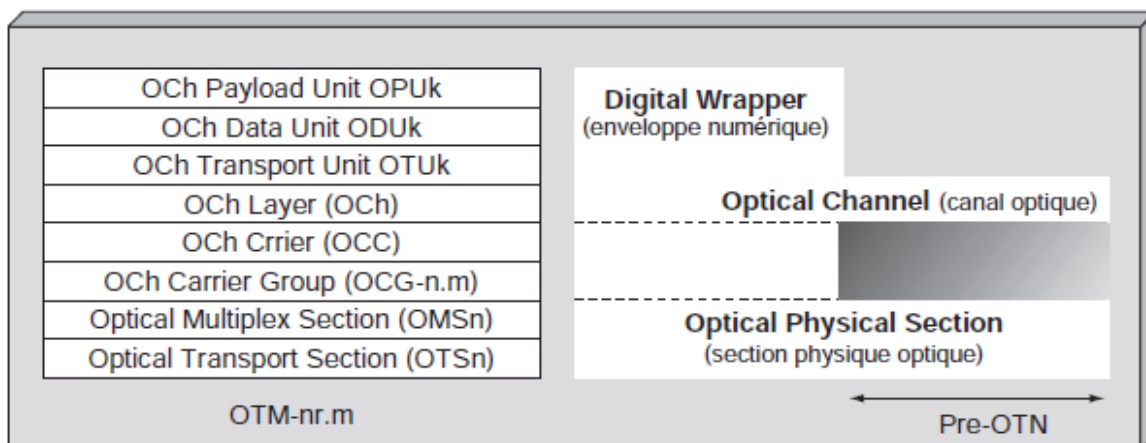
- 1-16 sont octets supplémentaires.
- 17 à 3824 sont données utiles,
- et les octets dans les colonnes 3825-4080 sont les données de codage FEC.

Ensuite, les couches sont présentées tour à tour, Comme représenté sur la figure précédente :

- une unité OPUk varie de colonne 15 à la colonne 3824, OPUk zone de tête comprise entre la colonne 15 à la colonne 16, et des signaux de client existent dans la zone de charge utile OPUk comprise entre la colonne 17 à la colonne 3824,
- La zone de tête ODUk est située en rangées, des colonnes 2-4 ,1-14 sur le coin inférieur gauche.
- La zone de tête OTUk est située dans la rangée 1 et colonnes 8-14 sont tous des "0".
- La zone FEC va de colonne 3825 à 4080 colonnes à droite du cadre.
- L'alignement zone de tête de trame se trouve dans la rangée 1 colonne 1-7 de la tête de trame.

### 2.3. Structure en couche de l'architecture OTN

Tous les types de trames doivent pouvoir être transportées de façon transparente dans la trame OTN, sans qu'elles aient besoin d'être modifiées. Un champ est prévu pour ajouter un FEC (ForwardError Correction) afin d'effectuer les corrections nécessaires pour atteindre un taux d'erreur déterminé [16]. L'interface OTN est constituée de plusieurs niveaux En partant de la fibre optique on trouve les couches suivantes :



**Figure. 46.** Structure en couches de l'architecture OTN.

- DW (Digital Wrapper) : correspond à l'enveloppe numérique, Le niveau DW est lui-même décomposé en trois sous-niveaux :

- OTUk (Optical Transport Unit) : donne la possibilité d'adopter une correction utilisant un FEC.
- ODUk (Optical Data Unit) : gère la connectivité indépendamment des clients et offre une protection et une gestion de cette connectivité.
- OPUk (Optical Payload Unit) : indique une correspondance entre le signal et le type de client.
- Canal optique
  - OCh (Optical Channel) : c'est le niveau de bout en bout du signal optique, Ce niveau permet la modification de la connexion et le routage, ainsi que les fonctions de maintenance de la connexion.
- OCC : représente un intervalle d'affluent dans le modèle OTM-n.m
- OCG-n.m : n porteuse de canal optique occupant des positions fixe et bien définie dans une charge utile OTM sont appelés groupe de porteuse optique.
- Section physique optique
  - OTS (Optical Transmission Section) : prend en charge la transmission du signal optique en vérifiant son intégrité, se compose d'un OMS (d'ordre n) et les entêtes sur son propre longueur d'onde.
  - OMS (Optical Multiplex Section) : prend en charge les fonctionnalités permettant de réaliser un multiplexage en longueur d'onde, se compose par multiplexage de plusieurs canaux optiques d'une longueur d'onde, avec une longueur d'onde distincte portant les entêtes de supervision OSC (Optical Supervisory Channel).

2.4. Hiérarchie d'interface et structure de l'OTN

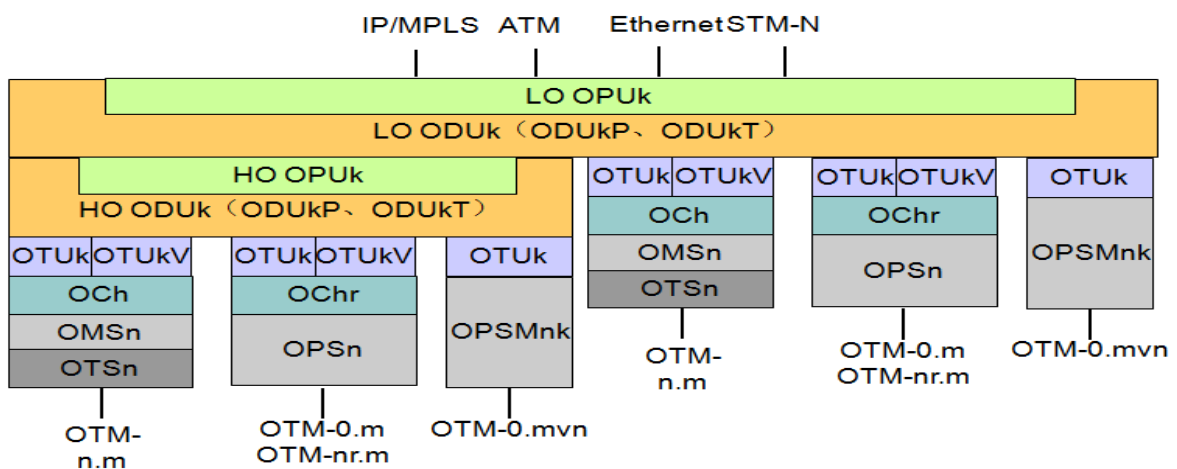


Figure. 47. Structure de signal OTM-n.

Module du transport optique c'est une structure informationnelle transportée à travers une interface .les indices n et m définissent le nombre de longueurs d'onde prises en charge et de débit pris en charge à l'interface, deux structure de module OTM sont définit comme suit : OTM à fonctionnalité complète et OTM à fonctionnalité réduite. [15,16]

2.4.1. Module OTM à fonctionnalité complète (OTM-n.m)

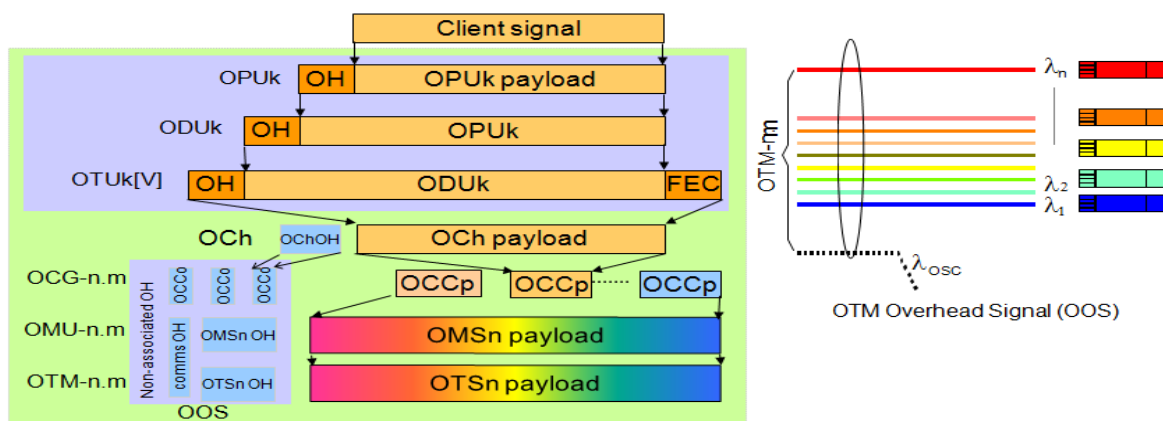


Figure. 48. L'interface OTM et la constitution d'un signal OTM-nm.

Le module OTM-n.m se compose d'un maximum de n canaux optiques multiplexés et d'un signal de préfixe OTM prenant en charge le préfixe non associé. C'est la structure utilisée pour prendre en charge les connexions de la couche des sections de transmission optique (OTS, Optical transmission section) dans le réseau OTN.

2.4.2. Module OTM à fonctionnalité réduite (OTM-0, OTM-nr.m)

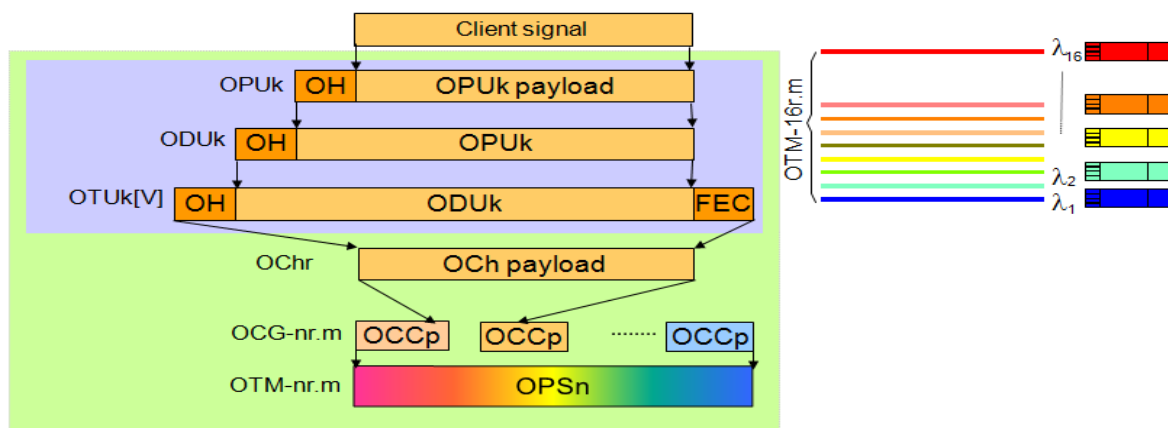


Figure. 49. L'interface OTM et la constitution d'un signal OTM-nr.m.

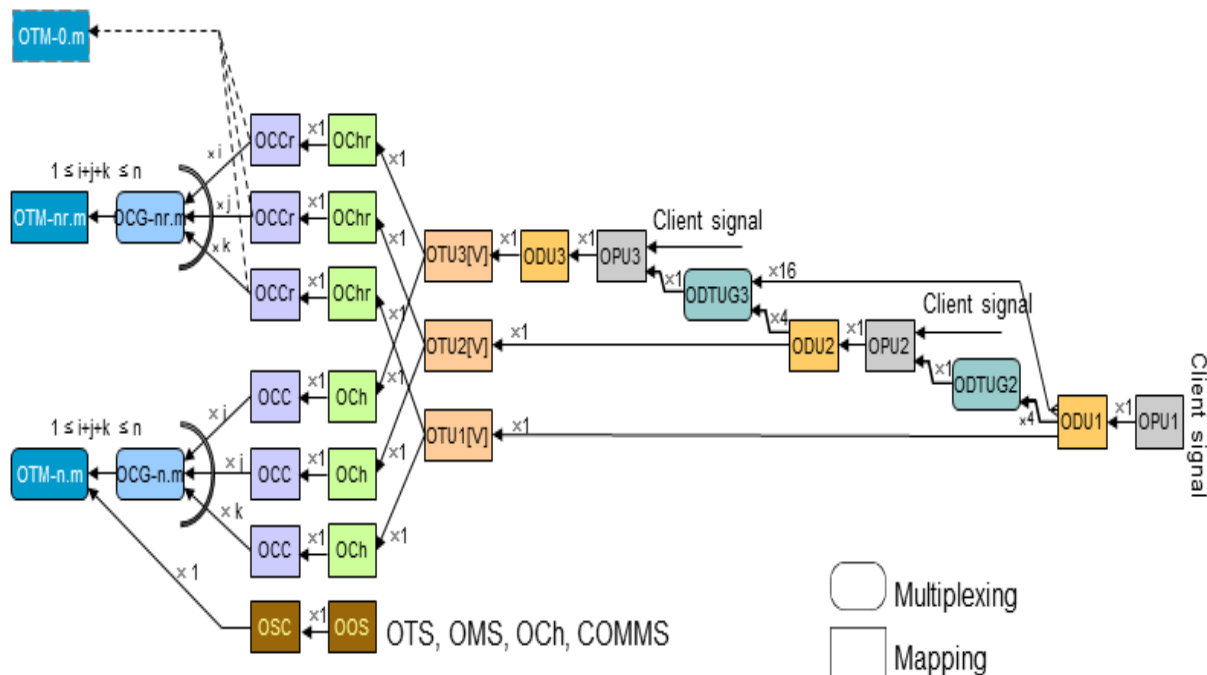
Le module OTM-0 se compose d'un unique canal optique sans attribution de couleur spécifique.

Le module OTM-nr.m se compose d'un maximum de n canaux optiques multiplexés. Le préfixe non associé n'est pas pris en charge. Le module OTM-nr.m/OTM-0 est la structure informationnelle utilisée pour prendre en charge les connexions de la couche des sections physico-optiques (OPS, Opticalphysical section) dans le réseau OTN.

- n: l'indice "n" sert à représenter l'ordre des Eléments OTM, OTS, OMS, OPS, OCG, OMU. Il représente le nombre maximal de longueurs d'onde qui peuvent être prises en charge au plus bas débit accepté sur une longueur d'onde. Il se peut qu'un nombre réduit de longueurs d'onde à débits supérieur soit pris en charge. La valeur  $n = 0$  représente le cas d'un canal unique sans attribution de couleur spécifique.
- r: l'indice "r", s'il est présent, sert à indiquer une fonctionnalité réduite d'Elément OTM, OCG, OCC ou OCh. Noter que pour  $n = 0$ , l'indice r n'est pas nécessaire car il implique toujours une fonctionnalité réduite.
- m: l'indice "m" sert à représenter le débit ou la série de débits pris en charge à l'interface. Les valeurs valides de m sont (1, 2, 3, 12, 123, 23).
- k: l'indice "k" sert à représenter un débit pris en charge et les différentes versions des unités OPUk, ODUk et OTUk. La valeur  $k = 1$  représente un débit approché de 2,5Gbit/s. La valeur  $k = 2$  représente un débit approché de 10Gbit/s et la valeur  $k = 3$  représente un débit approché de 40Gbit/s.

### **2.5. Structure de multiplexage et de cartographie**

Les différentes étapes de multiplexage OTN. [14, 15,17]



**Figure. 50.** Principe de multiplexage de l'OTN.

Le préfixe d'OTS, d'OMS, d'OCh et de COMMS est inséré par mappage dans le signal OOS et au moyen de techniques de multiplexage qui sont hors du domaine d'application de la présente Recommandation.

**2.5.1. Mappage :** Le signal client est mappé sur l'unité OPUk. Celle-ci est mappée sur une unité ODUk et l'unité ODUk est mappée sur une unité OTUk[V]. Celle-ci est mappée sur un canal optique OCh[r] et celui-ci est ensuite modulé sur une porteuse OCC[r].

**2.5.2. Multiplexage par répartition en longueur d'onde :** Jusqu'à  $n$  ( $n \geq 1$ ) porteuses OCC[r] sont multiplexées par répartition en longueur d'onde en un groupe OCG-n[r].m. Les intervalles d'affluent de porteuse OCC[r] du groupe OCG-n[r].m peuvent être de largeurs différentes. Le groupe OCG-n[r].m est transporté par le module OTM-n[r].m.

Dans le cas d'interfaces de module OTM-n.m avec fonctionnalité complète, le canal OSC est multiplexé en module OTM-n.m par répartition en longueur d'onde.

Dans l'interface il y a différentes entités de transport chacune à son capacité : OPU, OTU, ODU. Le tableau suivant illustre les différents types des entités et son débit :

Types	Capacité
OTU1	2 666 057.143 kbit/s
OTU2	10 709 225.316 kbit/s
OTU3	43 018 413.559 kbit/s
ODU1	2 498 775.126 kbit/s
ODU2	10 037 273.924 kbit/s
ODU3	40 319 218.983 kbit/s
OPU1	2 488 320 kbit/s
OPU2	9 995 276.962 kbit/s
OPU3	40 150 519.322 kbit/s

Tableau.5. Les débits de l'interface OTN

2.5.3. Technique de multiplexage d'ODU1 vers ODU2

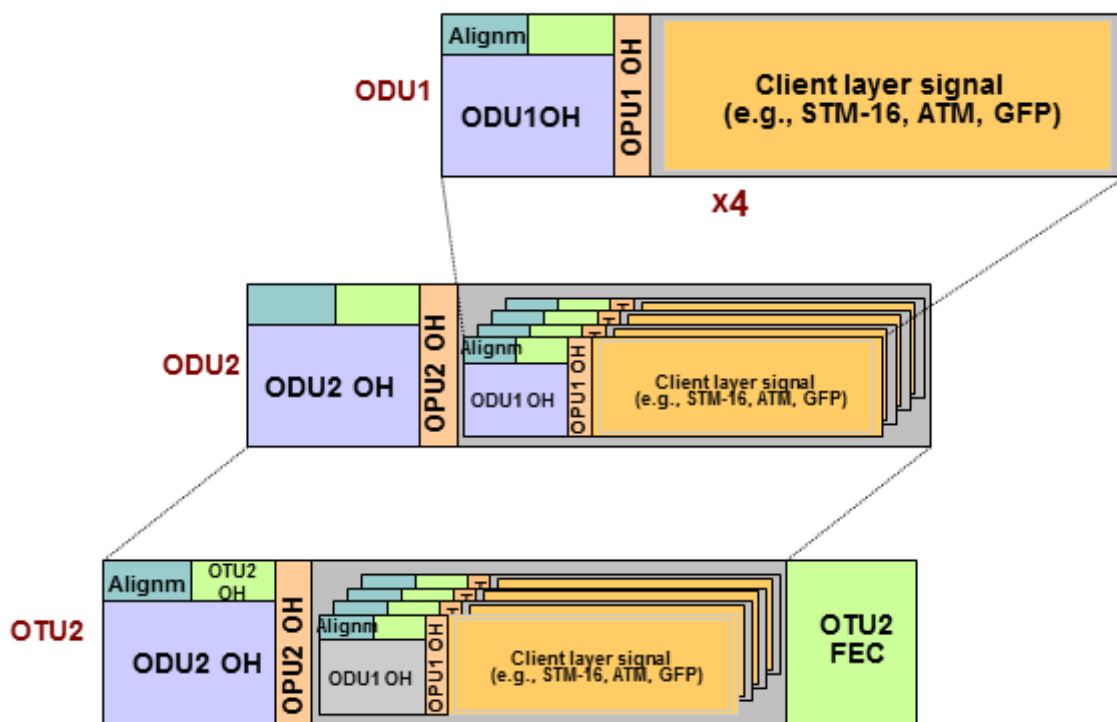


Figure. 51. L'ODU1 vers l'ODU2.

La figure montre le cadre d'ODU1, y compris le cadre alignement frais généré.

ODU1 adapte à la synchronisation d'horloge du signal d'ODU2 à travers le mappage asynchrone.

Comme le montre la structure de trame sur la figure, quatre ODU1 après adaptation est multiplexée vers la zone de charge utile de l'OPU2 en mode entrelacé d'octets, Après ODU2 est ajouté et mappé à OTU2 (ou OTU2V), cadre d'alignement des frais généraux, et de la zone FEC sont ajoutés à OTU2 (OTU2V), les signaux d'OTU2 transmises par l'OTM sont formés. ODU1 flotte de la zone de charge utile OPU2.

Un cadre d'ODU1 traversera plusieurs limites de trame ODU2.

La taille de trame et d'ODU1, ODU2 sont les mêmes, où la charge utile est 3808 colonne. Le cadre d'ODU1 doit traverser une frontière ODU2. La fréquence de trame de l'ODU2 est supérieure à ODU1. Par conséquent, il est possible lorsque ODU1 est multiplexé à ODU2 d'occuper une trame de ODU2.

### **3. ASON (Automatic Switched Optical Network)**

L'ITU propose une architecture model: ASON (Automatic Switched Optical Network) qui repose sur une grande partie sur l'utilisation du protocole GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching). Ainsi avant d'exposer ces recommandations de l'ITU, il est nécessaire de détailler le protocole GMPLS. [16,17]

#### **3.1. GMPLS au cœur des réseaux optiques**

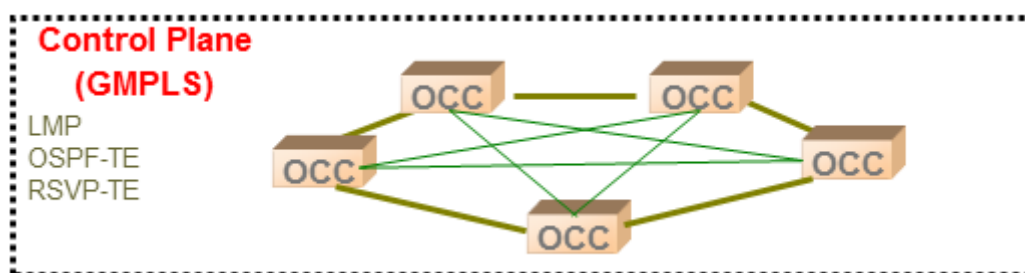
Le GMPLS (Generalized Multi Protocol label switching) est une plateforme de contrôle pour établir des connexions variées, dans des réseaux basés sur IP. Pour cela, il a fallu d'abord travailler sur les protocoles de routages et de signalisations existants (OSPF : Open Shortest Path First, et RSVP : Resource Reservation Protocol) auxquels on ajoute souvent le sigle TE pour Traffic Engineering. Ces deux protocoles sont utilisés conjointement pour apporter des solutions au fameux problème RWA (Routing and Wavelength Assignment) qui est celui de trouver une route et de lui assigner une longueur d'onde.

Pour établir dynamiquement un chemin lumineux (Light Path), la route et l'assignation de longueur d'onde doivent se faire quand la demande de connexion arrive. Il est possible qu'aucune route avec une longueur d'onde commune soit trouvée ou pire que toutes les longueurs d'ondes soient prises, auquel cas la demande est bloquée. L'objectif est de trouver une route et une longueur d'onde qui maximise la probabilité d'obtenir une connexion, Le choix de la route se fait sur la base d'informations sur l'état du réseau qui sont locales ou globales. Commençons par le routage statique, c'est à dire celui pour lequel les routes ont été

calculées avant la demande de connexion. Deux algorithmes sont possibles : le routage fixé (fixedrouting) et le routage par chemin alternatif fixé (fixedalternatepathrouting). Ces deux approches sont bien plus simples à implémenter que celles de routage dynamique, mais peuvent entraîner des blocages de connexion. L'approche dynamique augmente les chances d'établir une connexion en prenant en compte l'état du réseau, comme le nombre et la nature des longueurs d'onde disponibles par liens.[7]

### 3.2. Fonctionnement de l'ASON

L'ASON découvre lui-même les ressources et la topologie de la couche optique. Ce processus commence avec les OXC qui détectent leurs propres ressources disponibles, les services qu'ils peuvent rendre et les connexions dont ils disposent avec leurs voisins. Chaque OXC reporte alors ces informations à son OCC (Optical Connection Controller interface) par son interface CCI (Connection Controller Interface). Les OCC utilisant les interfaces nœud à nœud (NNI Node to Node Interface) et une version étendue d'OSPF découvrent automatiquement et collectivement la topologie du réseau entier ainsi que la bande passante disponible. Ces informations sont maintenues à jour par chaque contrôleur de l'OCC, ce qui lui permet de calculer des chemins à travers le réseau complet. Avec l'utilisation de GMPLS, les chemins optiques peuvent ainsi être ouverts, modifiés et fermés en quelques secondes. Le plan de contrôle de l'ASON est constitué d'un groupe des entités de communication, il implémente l'établissement, et le contrôle et la mise à jour de la connexion.



**Figure. 52.** Le plan de contrôle de l'ASON.

OCC: Optical Connection Control.

OSPF: Open ShortestPath First (ouvrir le premier court chemin).

LMP: Link management Protocol (Protocole de gestion de réseau).

RSVP-TE: Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering

### 3.3. Concept de base de l'ASON

Un réseau de commutation automatique optique (ASON) est un réseau de nouvelle génération optique qui intègre commutation et de transmission.

Sur un ASON, un client initialise automatiquement les demandes de service et sélectionne les routes. En outre, les connexions peuvent être automatiquement mis en place et libérées par des moyens de signalisation de contrôle. Un NE-ASON a les fonctions suivantes en relation avec le NE traditionnelle, comme montre la figure suivante :

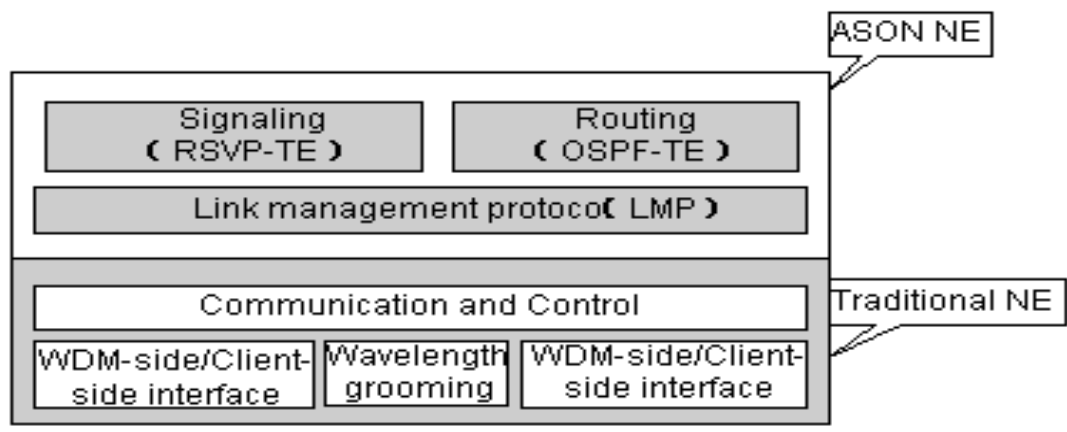


Figure.53. Un NE ASON.

### 3.4. La relation entre les protocoles de l'ASON

La figure suivante illustre les relations entre les différents types de protocoles de l'ASON :

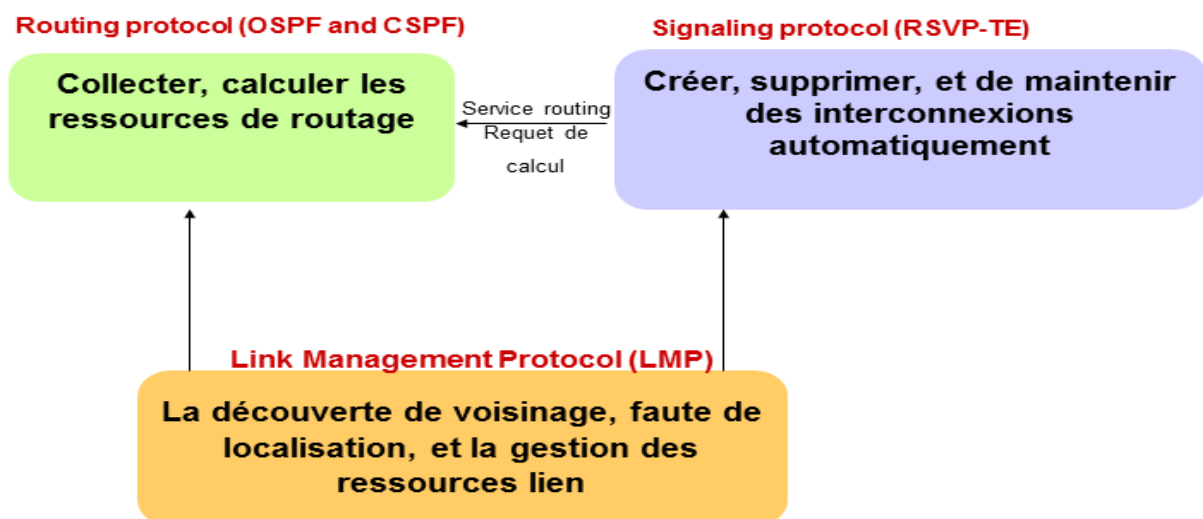


Figure. 54. Les protocoles de l'ASON.

Le protocole LMP vérifie le nombre des NEs existents et la connectivité entre ces différents NEs en fonction de ces liens et avec le protocole OSPF chaque NE envoie des requêtes aux autres NEs pour découvrir les informations de la bande passante et le type de la protection qu'il existe, et la topologie du réseau. Le protocole RSVP calcule le meilleur chemin pour le service, et réserve ce chemin pour ce service.

### 3.5. Configuration des services

Les réseaux traditionnels de WDM sont généralement des chaînes et des anneaux. Les chemins et les intervalles de temps de leurs services sont configurés manuellement anneau par anneau et point par point, qui consomme beaucoup de temps et d'efforts. Comme les réseaux deviennent de plus en plus vastes et complexes, ce mode de configuration du service ne peut pas répondre aux demandes des utilisateurs qui augmentent rapidement. L'ASON résout ce problème avec succès par la configuration de service de bout en bout.

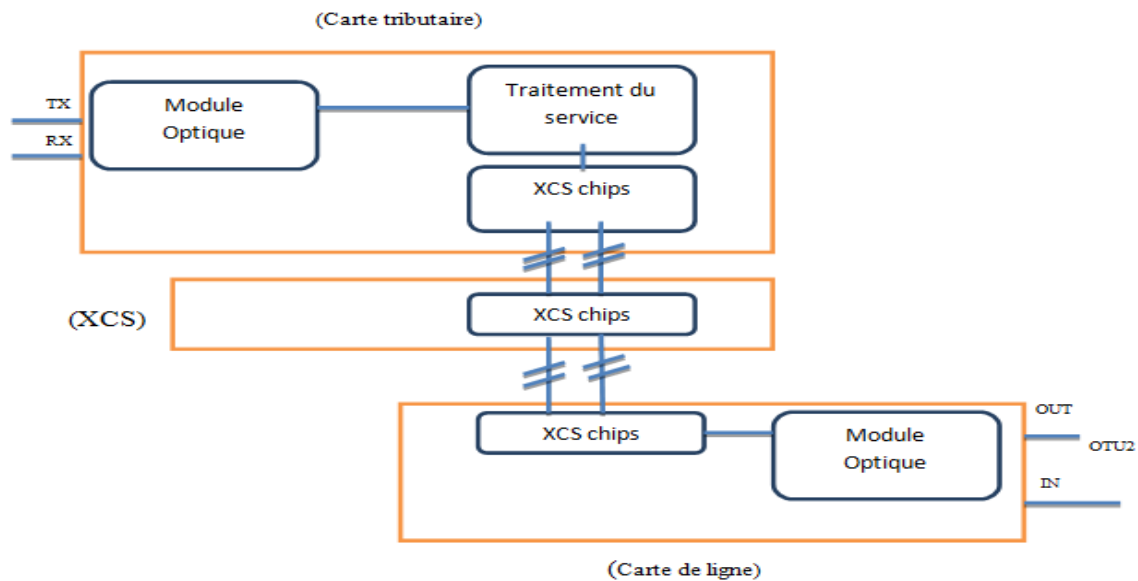
Pour configurer un service, il vous suffit de spécifier son nœud source, la bande passante exigée et le type de protection, le réseau effectue automatiquement les opérations requises. [14,16]

#### 3.5.1. Utilisation de la bande passante

Les réseaux traditionnels de transmission SDH optiques, ont une grande quantité de ressources réservées, et ne disposent pas de protection avancée des services et de la restauration et de fonctions de routage. En revanche, avec la fonction de routage de la ASON peut fournir une protection en réservant moins de ressources, augmentant ainsi l'utilisation des ressources réseau.

### 3.6. La cross-connexion électrique (Electrical Grooming)

Comme la cross-connexion des VCs dans le SDH, dans le NG-WDM il y a la cross-connexion des ODUk. Il existe deux types de cross-connexion dans un équipement NG-WDM : la cross-connexion centrale (supporte la cross-connexion des ODU2, ODU1, GE, ODU1), et la cross-connexion distribuée (entre les cartes via des bus, supporte seulement les ODU1, et GE). Il y a deux niveaux de cross-connexion ; à l'intérieur de la carte OTU (une puce de cross-connexion) et à la carte de cross-connexion comme montré la **figure.55**.



**Figure.55.** Les niveaux de la cross-connexion électrique.

La cross-connexion électrique dans un système NG-WDM est transparente, c'est-à-dire quel que soit le type de service il va encapsuler dans un ODUk, l'essentiel c'est le début de ce service. Il existe plusieurs types cartes de cross-connexion qui ont peu inséré dans équipement NG-WDM HUAWEI :

XCM : cross-connexion + unité d'horloge, avec une capacité de cross-connexion de 1,28 Téra d'ODU2 ou bien 1,28 Téra du VC.

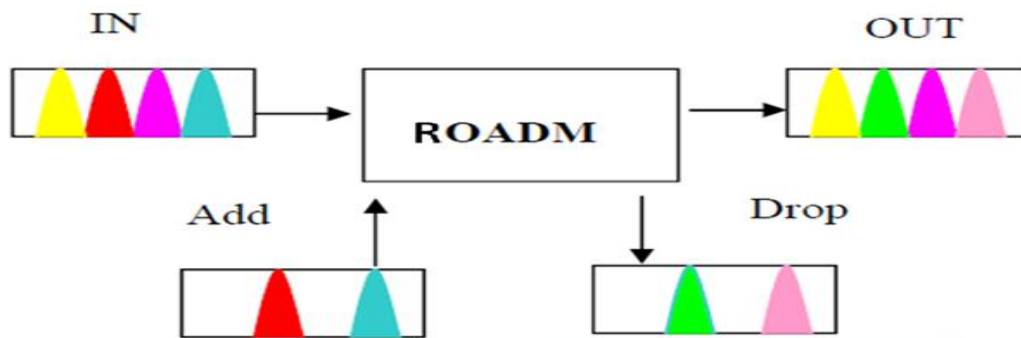
XCH : elle support seulement la cross-connexion des ODUk avec une capacité de 1,28 Téra.

#### 4. ROADM (Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer)

A l'inverse des OADM statiques, les OADM dynamiques peuvent être reconfigurés donc on peut changer la valeur de la longueur d'onde à extraire/insérer. Cela permet à une ou plusieurs longueurs d'onde, transportant des signaux clients d'être ajouté ou retranché de la fibre optique, sans la nécessité de convertir les signaux sur tous les canaux WDM en des signaux électriques et vis versa.

Le sens réel de l'OADM est l'insertion et l'extraction de n'importe quel longueur d'onde à n'importe port. Il existe deux générations : la deuxième est utilisée dans les réseaux WDM point à point pour remplacer les OADM de première génération et apporter les avantages de la configuration du réseau, la troisième génération est aujourd'hui utilisée dans

les boucles optiques pour pouvoir extraire une longueur d'onde particulière qui peut être reconfigurée et insérer de nouvelles données à sa place.[17]



**Figure.56.** Reconfigurable OADM.

La R-OADM (Reconfigurable OADM) permet aux fournisseurs de services de définir et de reconfigurer à distance les longueurs d'onde tout en ajoutant la souplesse qui caractérise le mode 'any-wavelength-to-anywhere' (toute longueur d'onde à n'importe quel endroit) à leur infrastructure réseau. Cette possibilité leur permet d'optimiser leurs coûts d'exploitation, et de réduire fortement les déplacements sur le terrain pour mettre à jour et assurer la maintenance des réseaux métropolitains et régionaux.

#### 4.1. Type du RODAM (Huawei)

- WSD9+ RMU9.
- WSM9+ RDU9.
- WSMD4+ WSMD4.
- WSMD2+ WSMD2.

On prend l'exemple du RODAM (WSM9+RDU9) : Dans un équipement HUAWEI de type ROADM on trouve les unités suivantes :

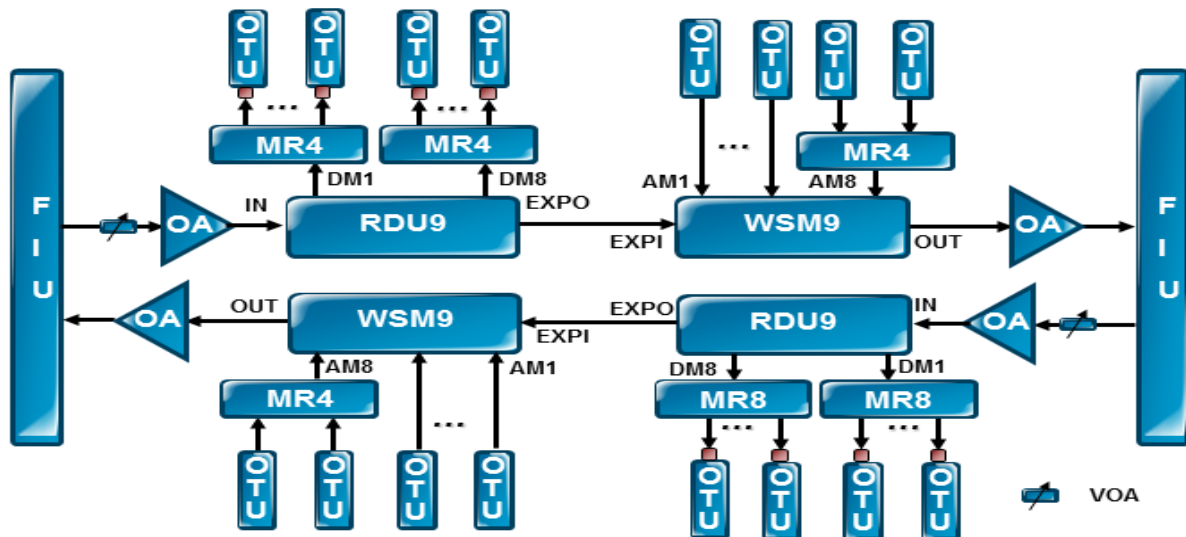


Figure. 57. ROADN (WSM9+RDU9)

Dans ce type de ROADN on peut insérer ou extraire 8 longueurs d'ondes aux maximum, si on veut plus on ajoute des multiplexeurs de type MR4, M40, D40.

La RDU9 est pour l'extraction des longueurs d'ondes, chaque port de la carte peut être connecté à un multiplexeur ou bien directement à la carte OTU.

La carte WSM9 réalise le multiplexage dynamique et configurable des longueurs d'ondes quelconque à n'importe quel port. Elle peut insérer n'importe quel longueur d'onde du groupe à n'importe quel nœud dans le réseau en anneau ou maillé. [15]

## 5. Conclusion

La qualité du signal qu'elle transporte et les débits qu'elle autorise ont fait de la fibre optique la reine des media de l'Internet. Que ce soit de la voix, de l'image, du texte, des fichiers binaires, que ce soit nativement dans n'importe quel format de trame, la fibre optique, grâce à WDM acheminera vos données. Elle supporte des trafics évoluant de manière exponentielle. Au plus ce trafic augmente, en volume et en débit, au plus il devient déterminant d'éviter les conversions optique-électronique-optiques du signal. Or, cette conversion était jusqu'à maintenant ou presque inévitable pour router le signal et même pour le régénérer. Sont aujourd'hui disponibles des appareillages comme les EFDA, les ROADN et les OXC configurables qui permettent de résoudre ce problème. Des architectures de contrôle du réseau (ASON/GMPLS) se mettent petit à petit en place pour gérer convenablement ce matériel. Pour gérer encore plus efficacement le transport des données dans l'Internet, nous voyons aujourd'hui apparaître des solutions de transport IP/Optique.

**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 va voir comment à partir de la connaissance des caractéristiques d'équipement, les localisations géographiques, la topologie avec le moins coût possible et le diagramme de notre réseau et les types de services, on arrive à faire une configuration du notre réseau.

**2. Aperçu sur la société HUAWEI**

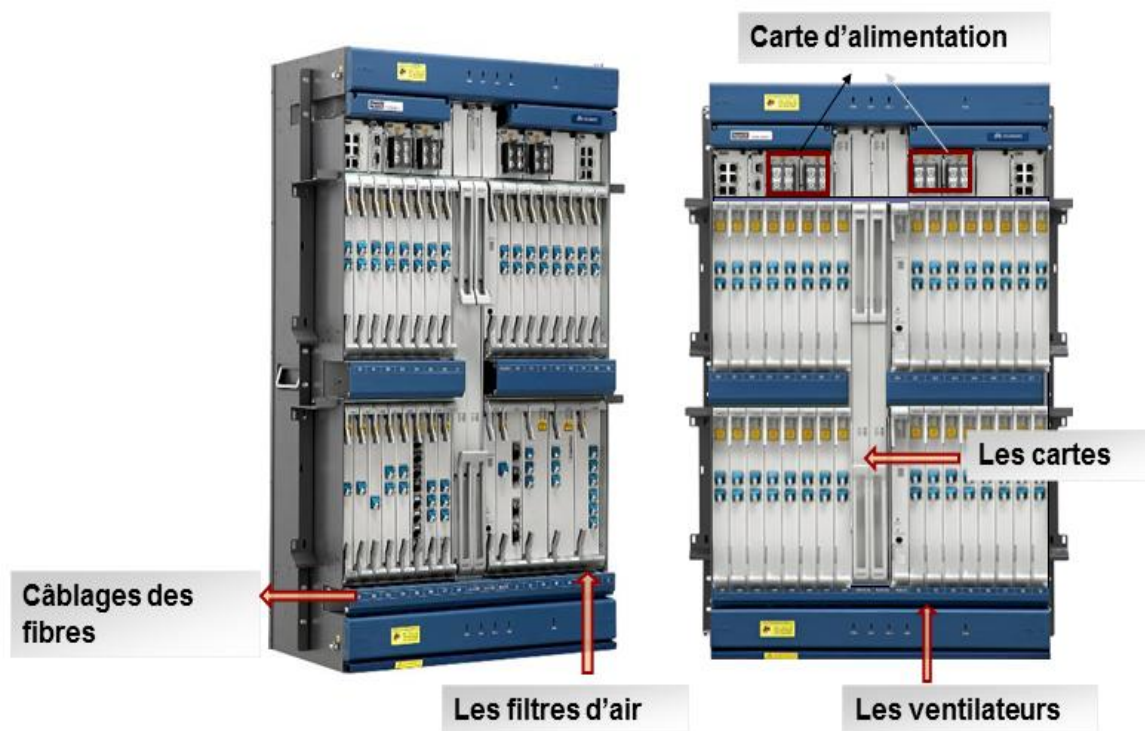
Huawei est une entreprise dont le siège social se trouve en Chine, active dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle fournit des matériels, des logiciels et des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques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

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

**3. Description de l'équipement**

Huawei fournira à Algérie Télécom sa plateforme OSN 8800 NG-WDM. 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 (OTN cross-connects), une technologie permettant la commutation et l'agrégation des données aux niveaux 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 déployée avec succès au cœur des réseaux d'opérateurs de premier plan.



**Figure.58.** Structure d'équipement HUAWEI OSN 8800.

#### 4. Types 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 du 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.6. Les différents types de service.

### 5. Architecture de réseau

Dans le cadre de ce travail nous allons simuler un réseau en anneau formé de 4 éléments (NE) NG-DWDM de types OSN 8800

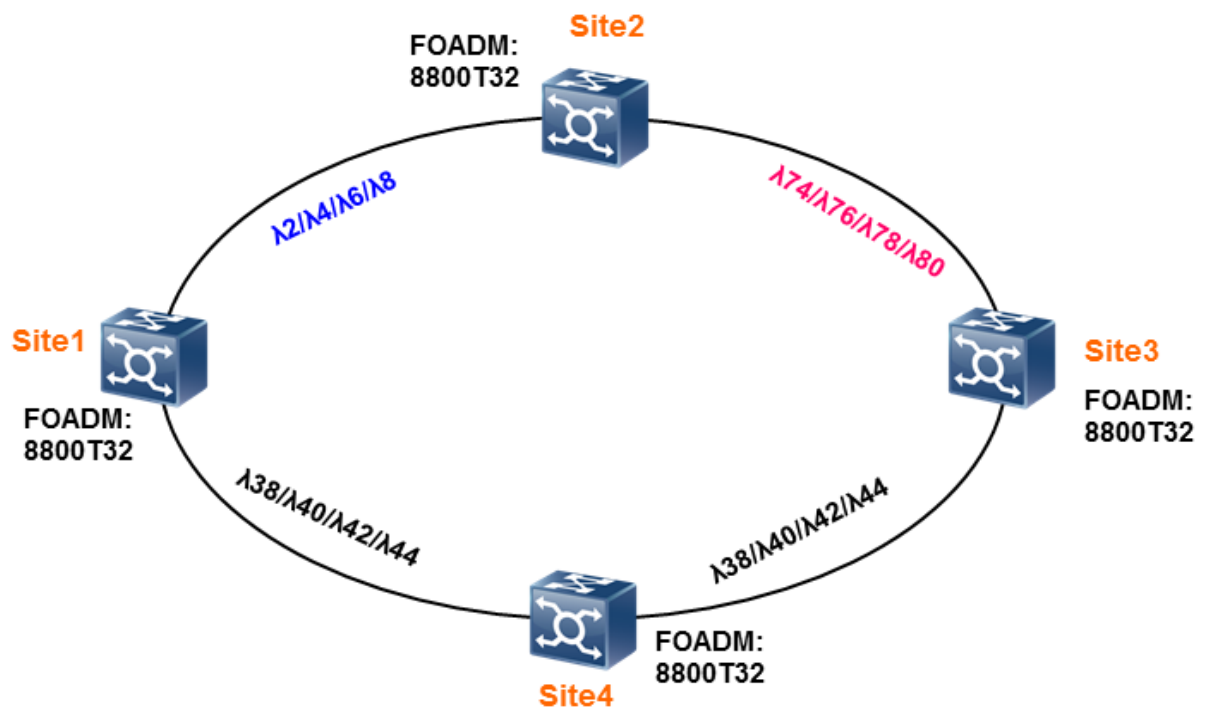


Figure.59. Réseau en anneau NG-DWDM.

**FOADM** : ne permet que l'entrée et la sortie d'une seule longueur d'onde via le port fixe.

5.1. Allocation des longueurs d'ondes

	SITE1	SITE2	SITE3	SITE4	SITE1
$\lambda_2$ (196.0Thz)	●————●	●————●			
$\lambda_4$ (195.8Thz)	●————●	●————●			
$\lambda_6$ (195.7Thz)	●————●	●————●			
$\lambda_8$ (195.7Thz)	●————●	●————●			
$\lambda_{74}$ (192.4Thz)		●————●	●————●		
$\lambda_{76}$ (192.3Thz)		●————●	●————●		
$\lambda_{78}$ (192.2Thz)		●————●	●————●		
$\lambda_{80}$ (192.1Thz)		●————●	●————●		
$\lambda_{38}$ (194.2Thz)			●————●	●————●	●————●
$\lambda_{40}$ (194.1Thz)			●————●	●————●	●————●
$\lambda_{42}$ (194.0Thz)			●————●	●————●	●————●
$\lambda_{44}$ (193.9Thz)			●————●	●————●	●————●

Tableau.7. Allocation des longueurs d'onde.

6. Mise en œuvre de la simulation

Dans cette simulation nous allons procéder comme suit :

- Création des NEs.
- Paramétrages des NEs.
- L'attribution des cartes.
- Configuration des services suivant la location des longueurs d'onde.
- Création de protections.

6.1. Conception des NEs

SITE 1 : (Les connexions entre les cartes)

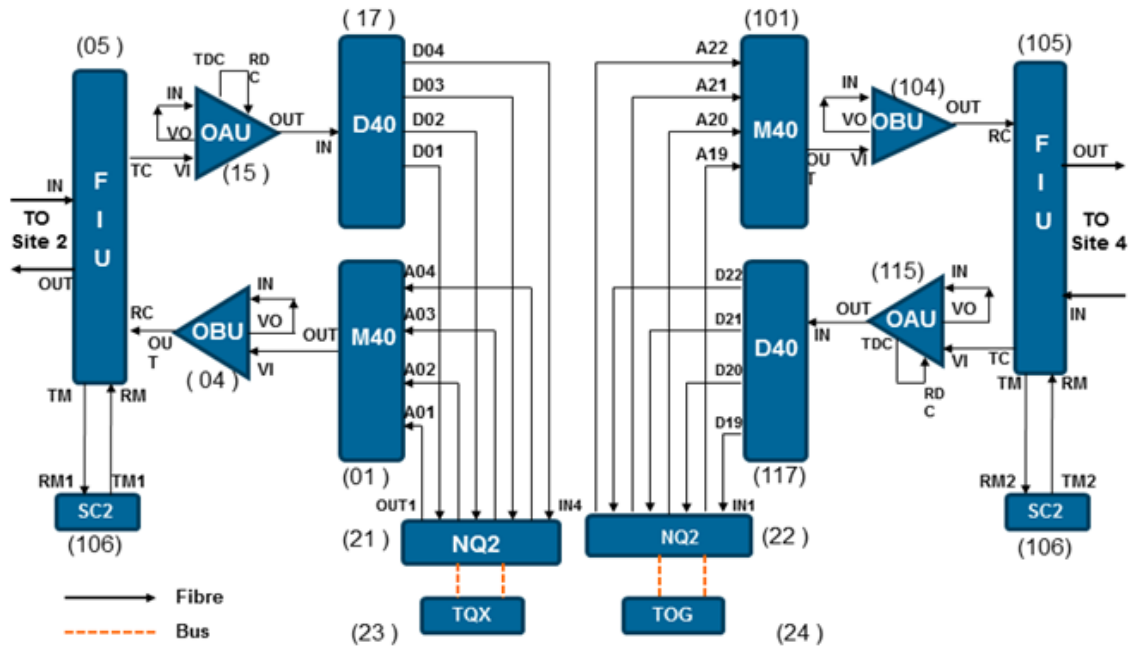


Figure.60. Les connexions entre les cartes (nœud 1).

6.1.1. 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 :

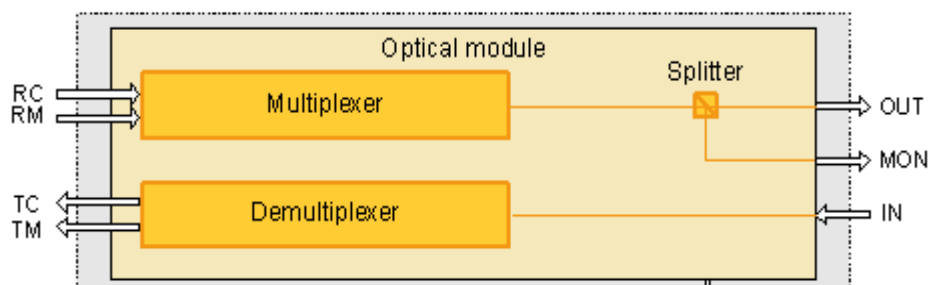


Figure.61.a. Principe de fonctionnement de la carte FIU.



Figure.61.b. La carte FIU (Vue de face).

6.1.2. 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 ODU2 à travers le cross connexion électrique.

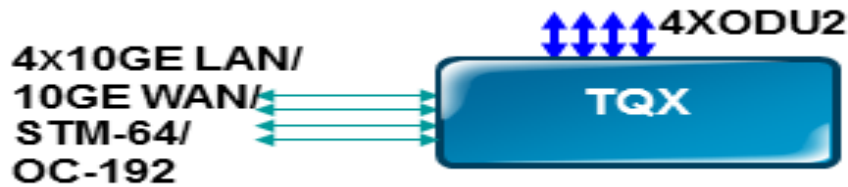


Figure.62.a. Principe de fonctionnement de la carte FIU.

- T : Tributary unit (Carte tributaire).
- Q : 4 ports client.
- X : 10 G.

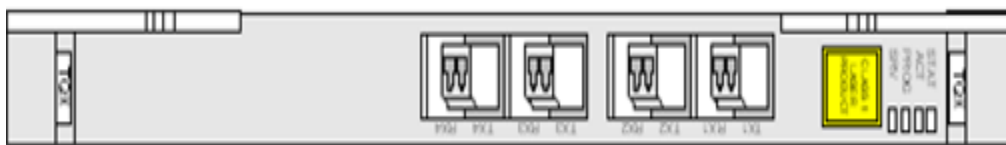


Figure.62.b. La carte TQX (vue de face).

6.1.3. D40

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

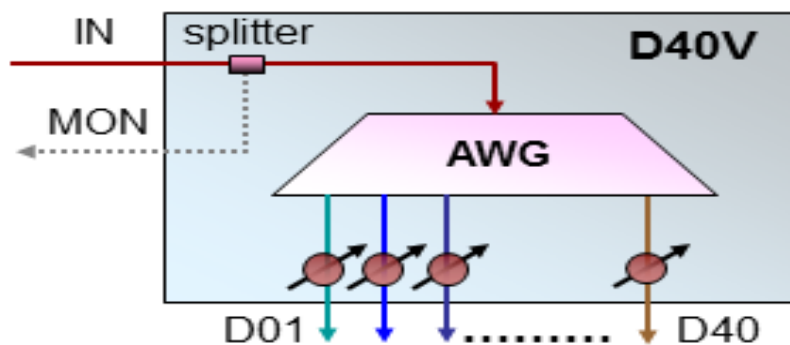


Figure.63.a. Principe de démultiplexage de la carte D40.

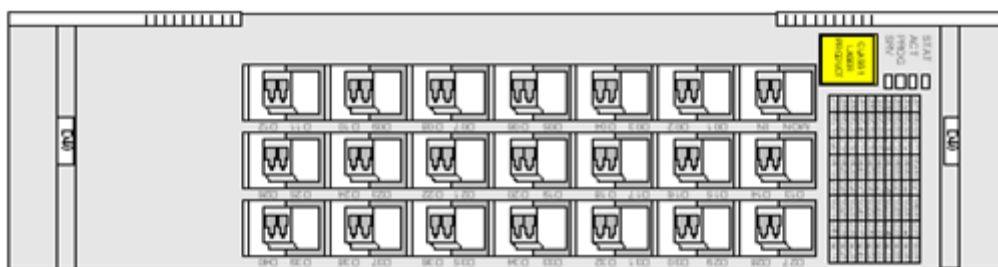


Figure.63.b. La carte D40 (Vue de face).

#### 6.1.4. 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.64.a. Montre le principe de multiplexage de cette carte :

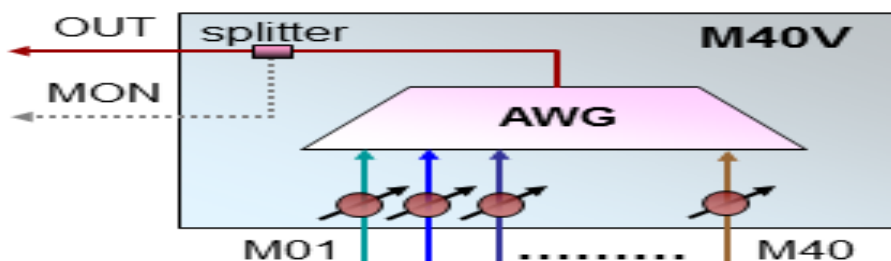


Figure.64.a. Le principe de multiplexage de la carte M40.

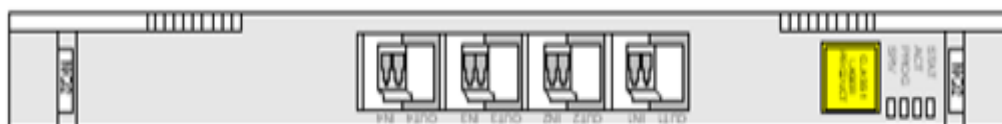


Figure.64.b. La carte M40 (Vue de face).

#### 6.1.5. NQ2 :

C'est une carte de ligne, qui réalise la conversion entre 30 canaux ODU0, ou 16 canaux ODU1 ou 4 canaux ODU2 et 4 canaux de signal WDM standardisé.



Figure.65. La carte NQ2.

- N : Line unit (carte de ligne).
- Q : 4 ports WDM.
- 2 : OTU2.

**6.1.6. SC2 (Bidirectional Optical Supervisory channel)**

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



Figure.66. La carte SC2 (Vue de face).

**6.1.7. TOG:**

C'est une carte tributaire comme la carte NQ2, mais elle dédié seulement les services de type Giga Ethernet (GE).

- T : Tributary Unit (carte tributaire).
- O: 8 ports clients.
- G : Service GE.

**6.1.8. OAU 101 (Optical Amplifier Unit)**

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

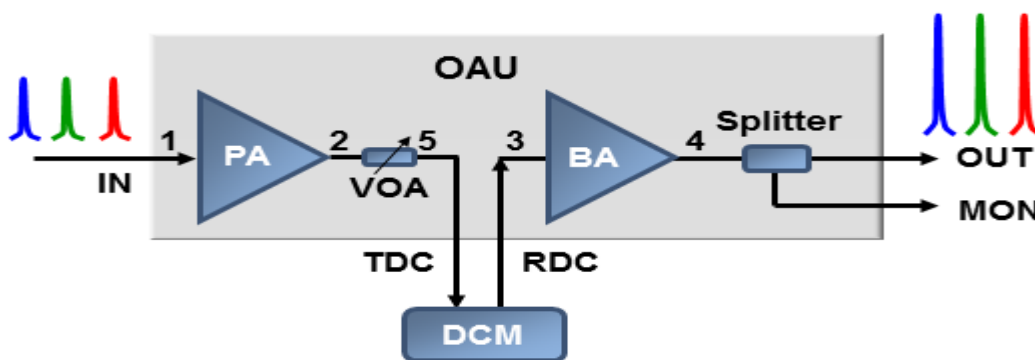


Figure.67.a. Le principe de fonctionnement de l'OAU.

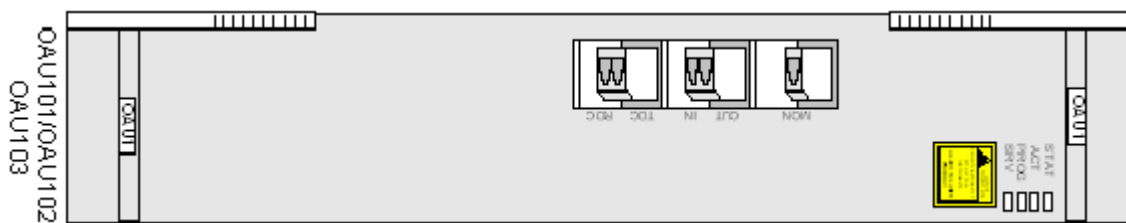


Figure.67.b. La carte OAU101 (Vue de face).

6.1.9. OBU 103 (Optical Booster Unit)

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

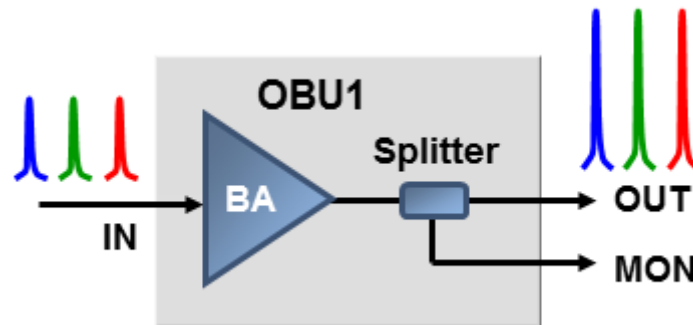


Figure.68.a. Le principe de fonctionnement de l'OBU1.

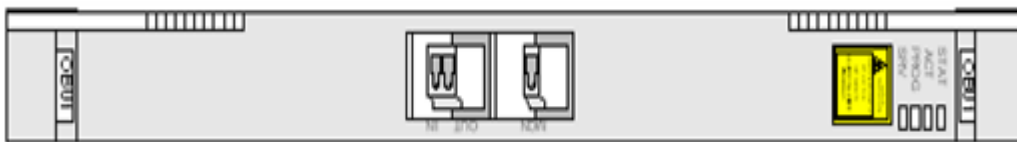


Figure.68.b. La carte OBU (Vue de face).

SITE 2

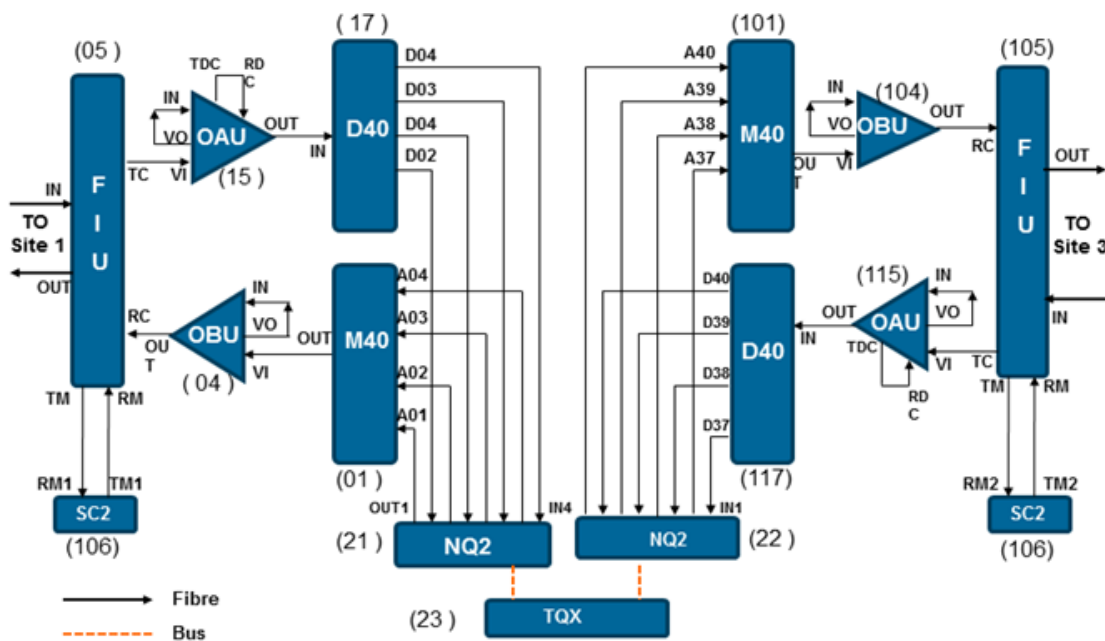


Figure.69. Les connexions entre les cartes (nœud 2).

SITE 3

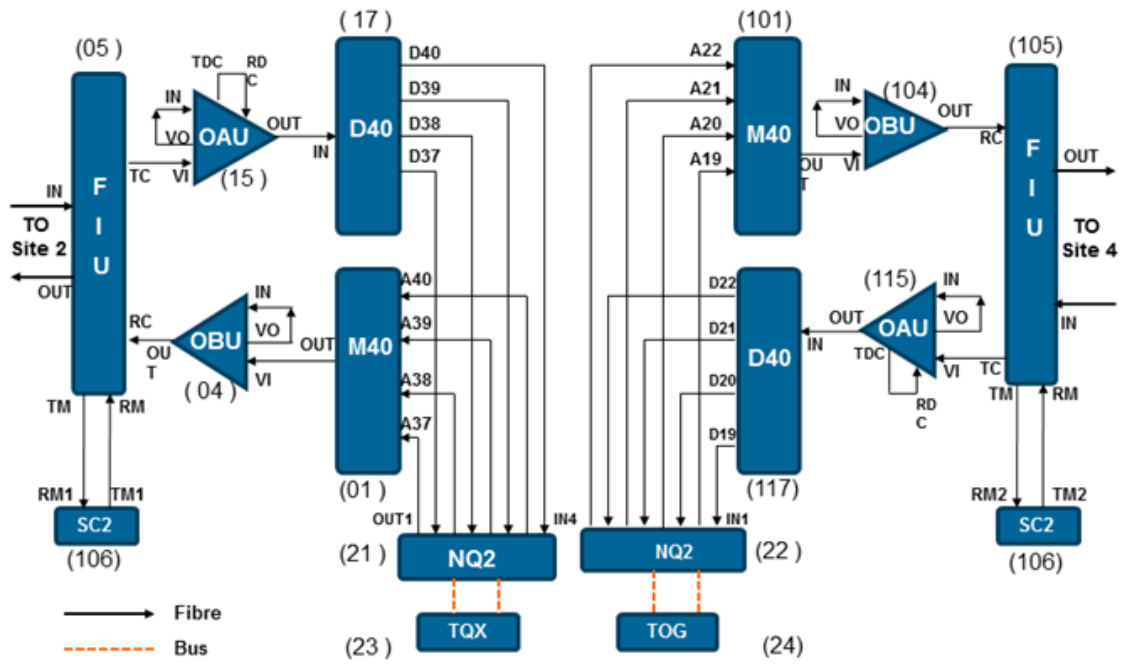


Figure.70. Les connexions entre les cartes (nœud 3).

SITE 4

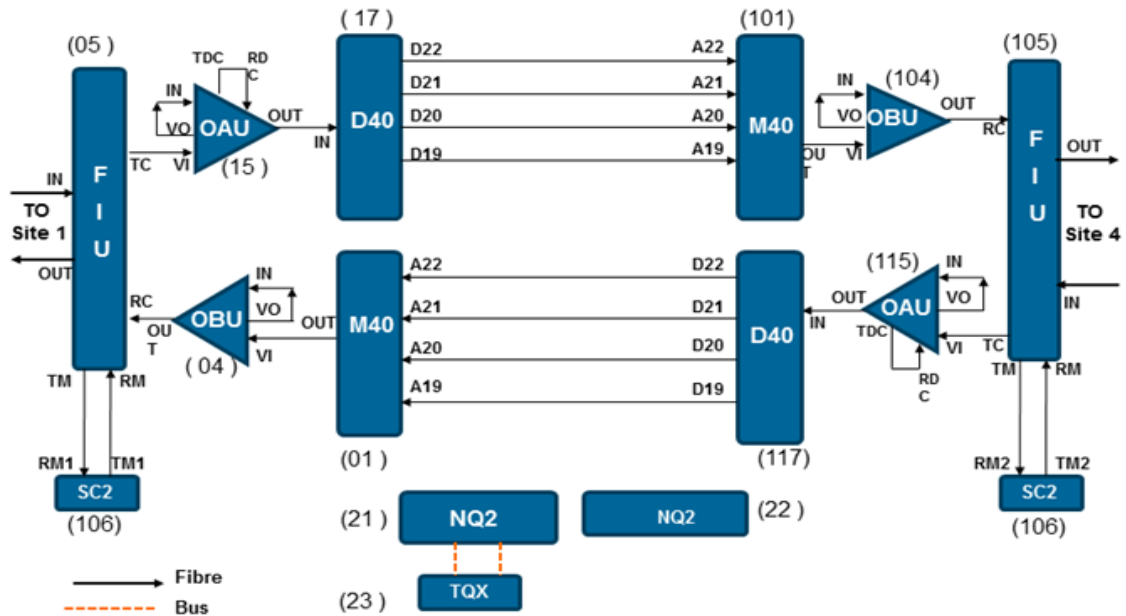


Figure.71. Les connexions entre les cartes (nœud 4).

## **7. Présentation de la simulation**

Création d'un réseau NG-DWDM en utilisant le gestionnaire de réseau HUAWEI : U2000-LCT.

### **7.1. Description de l'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, ASON), et aussi les réseaux de données (commutateur; routeur, etc.) et réseaux d'accès (MSAN; DSLAM; etc.). C'est un système de haute sécurité, il est commode pour l'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.

#### **7.1.1. 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 types d'équipements et de services, y compris SDH, WDM, RTN, le système câble sous-marin, Ethernet, ATM et SAN.
- Déploie les processus de gestion de service NE.
- Etant un système de gestion de sous-réseaux (SNMS), il fournit toutes les fonctions de gestion d'éléments et quelques fonctions de gestion de réseaux.
- Supporte les deux plateformes Windows, Linux et UNIX, dans lesquelles les mêmes opérations sont fournies.
- Supporte plusieurs interfaces externes ouvertes, telles que CORBA, XML, SNMP et MML.
- Fournit l'interface utilisateur graphique basé sur le JAVA, dans une structure « d'arbre à gauche et table à droite ».
- Fournit une fonction puissante de recherche d'équipement, 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 IP et ECC.
- Fournir plusieurs outils et méthodes de sauvegarde et de restauration des données, pour assurer la sécurité des données réseau.

#### **7.2. 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**
  - Définition des stratégies de surveillance d'alarme.
  - Voir des alarmes.
  - Suppression des alarmes.
  
- **Gestion des Performances**
  - Définition 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 d'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.
  - Control d'accès LCT.
  - Gestion d'utilisateur en ligne.
  - Paramètres de sécurité NE.
  - Journal de sécurité NE.
  - Gestion d'utilisateur NMS.
  - Gestion des logs NMS.

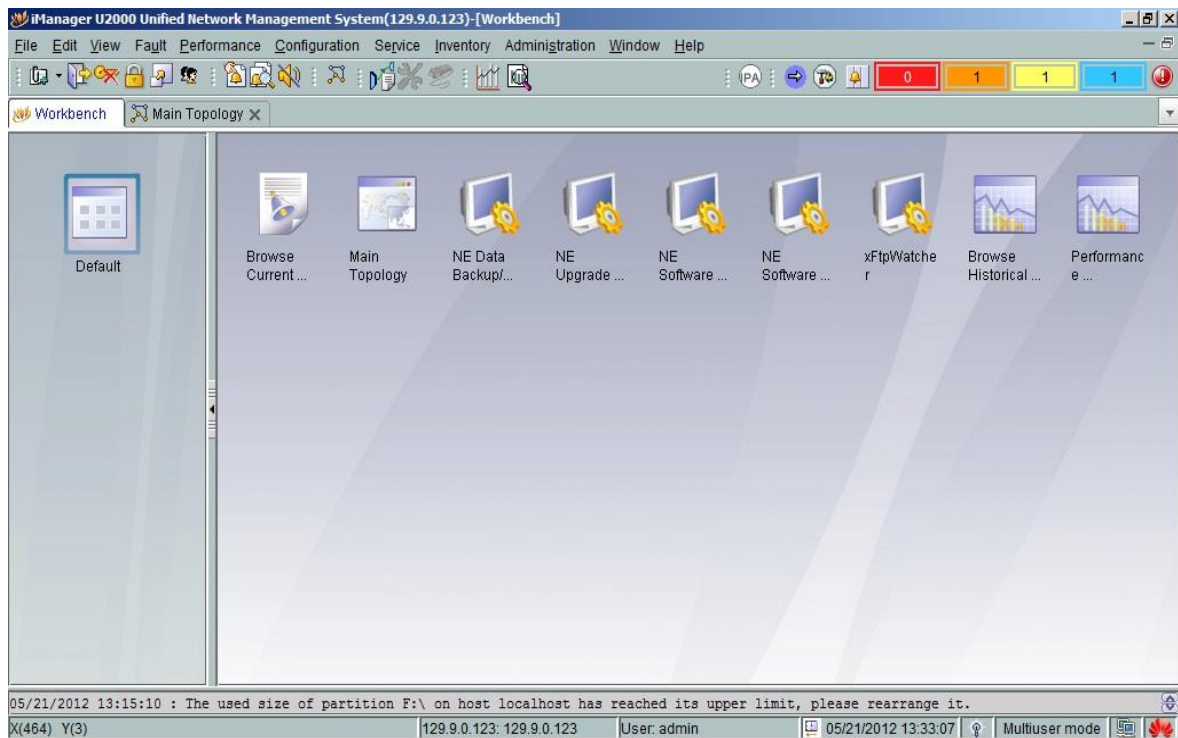


Figure.72. L'interface du l'U2000.

## 8. Configuration et paramétrage du réseau

### 8.1. Création des NEs

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

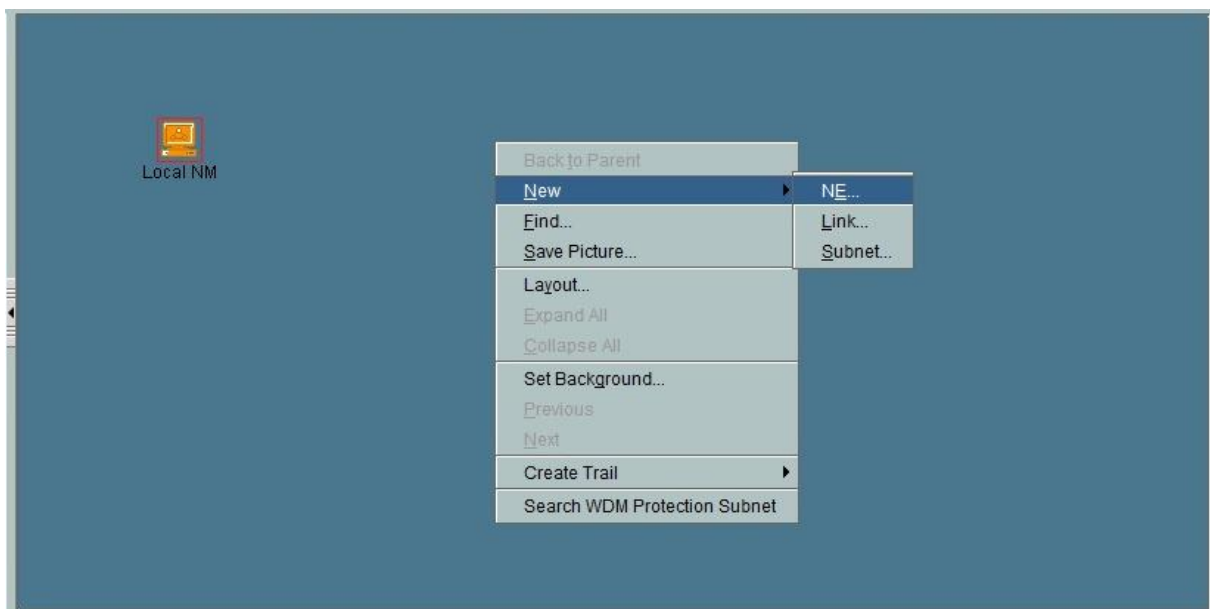


Figure.73. Création des NEs.

### 8.2. 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 :

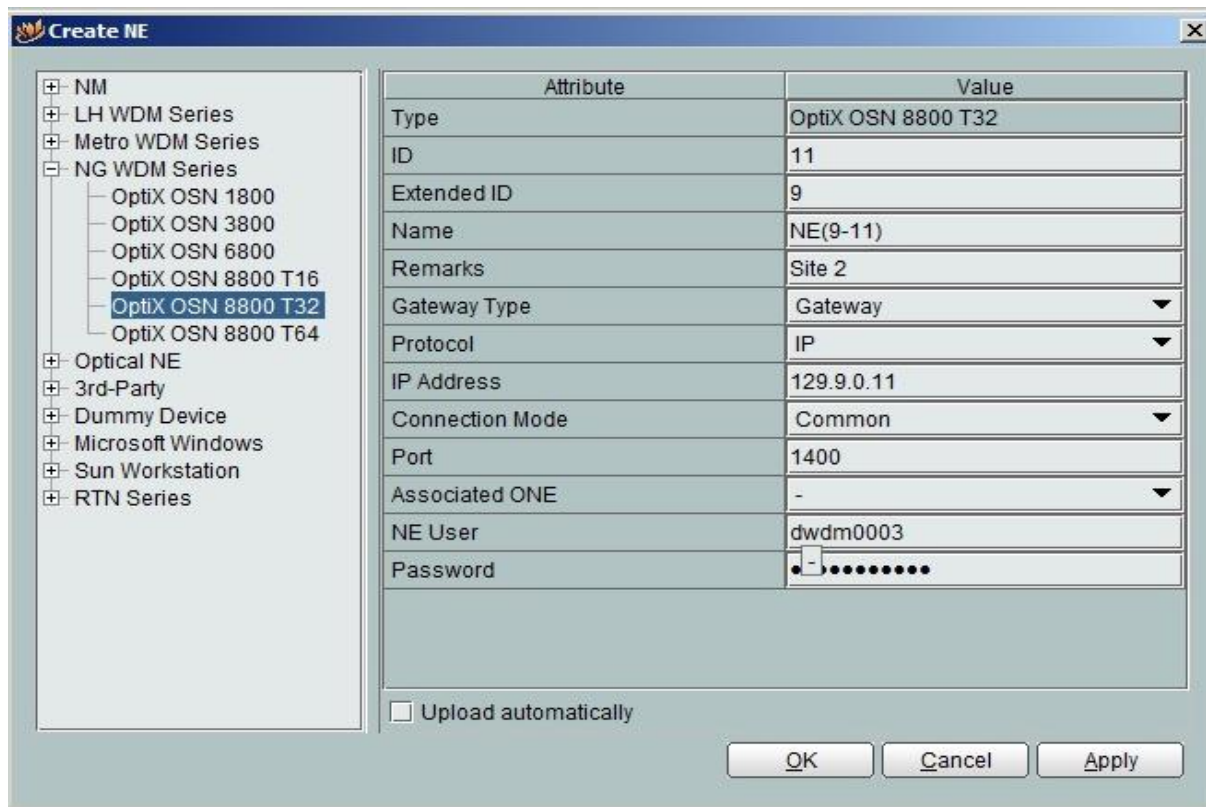


Figure.74. Distinguer le type d'équipement

Les différents paramètres d'un 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.75. Paramètre 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 129.9.A.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=12, 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=13, 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').

### 8.3. 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.

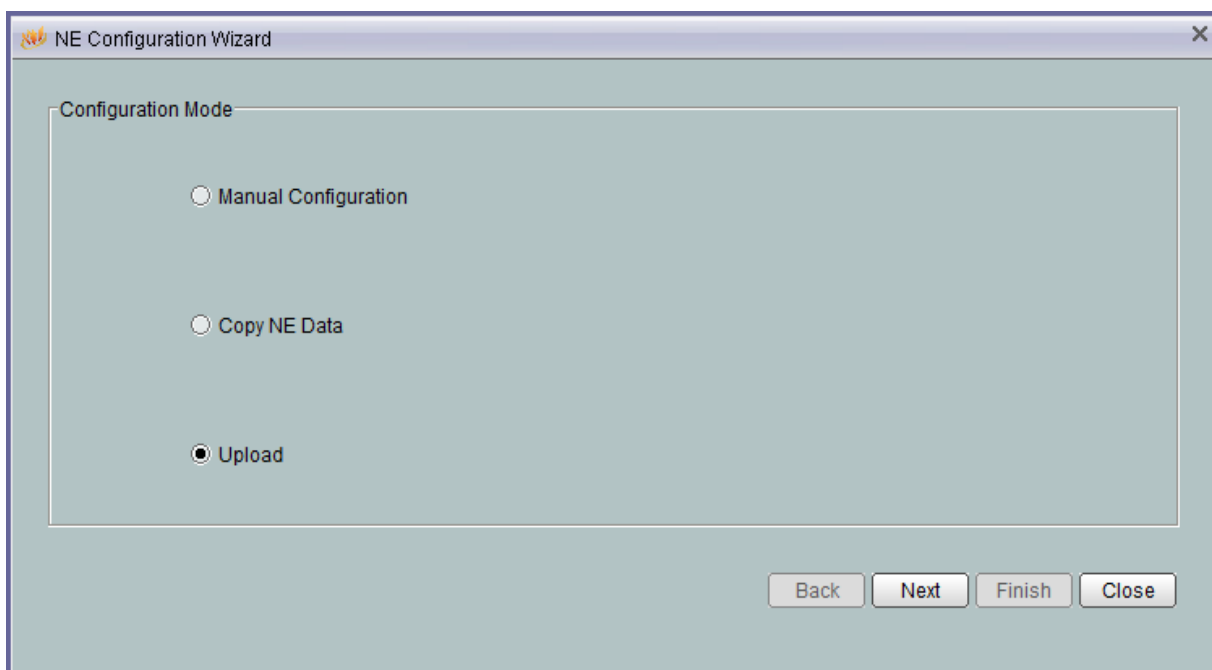


Figure.76. Configuration des cartes

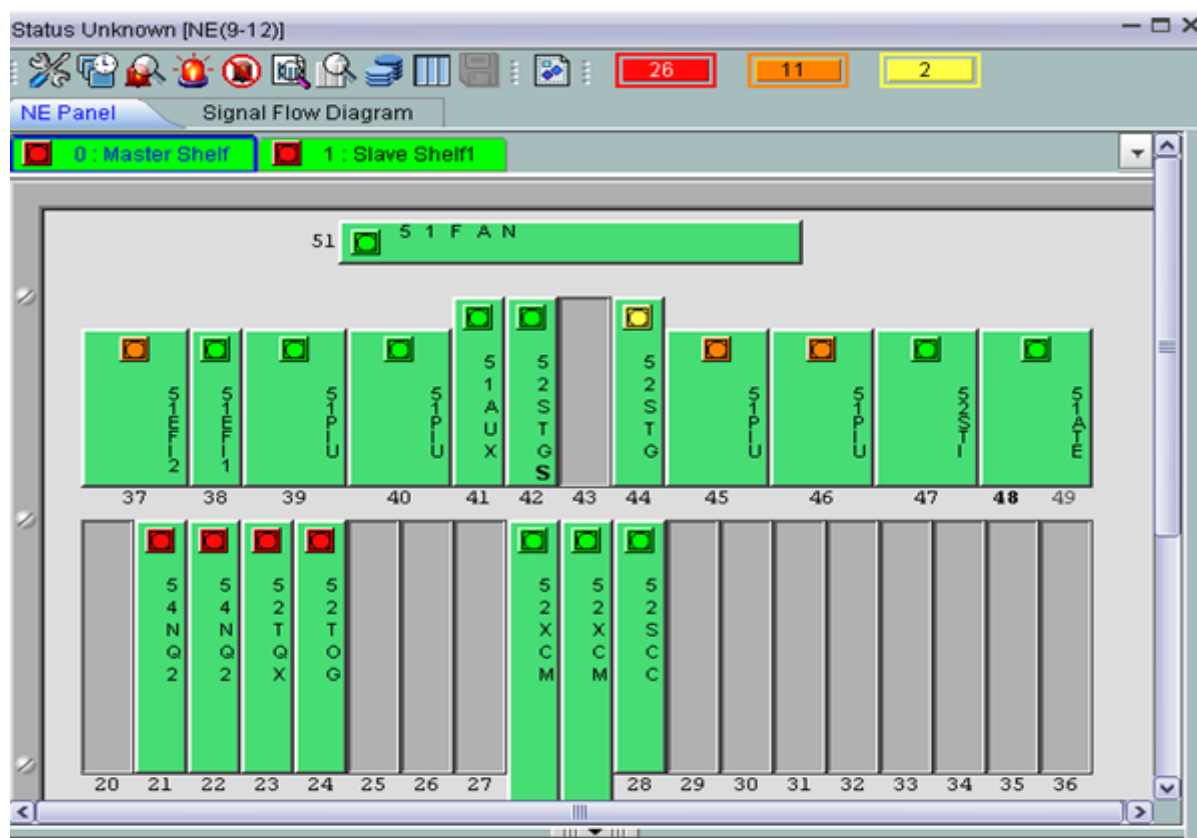


Figure.77. Chargement des cartes

#### 8.4. Création des services :

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

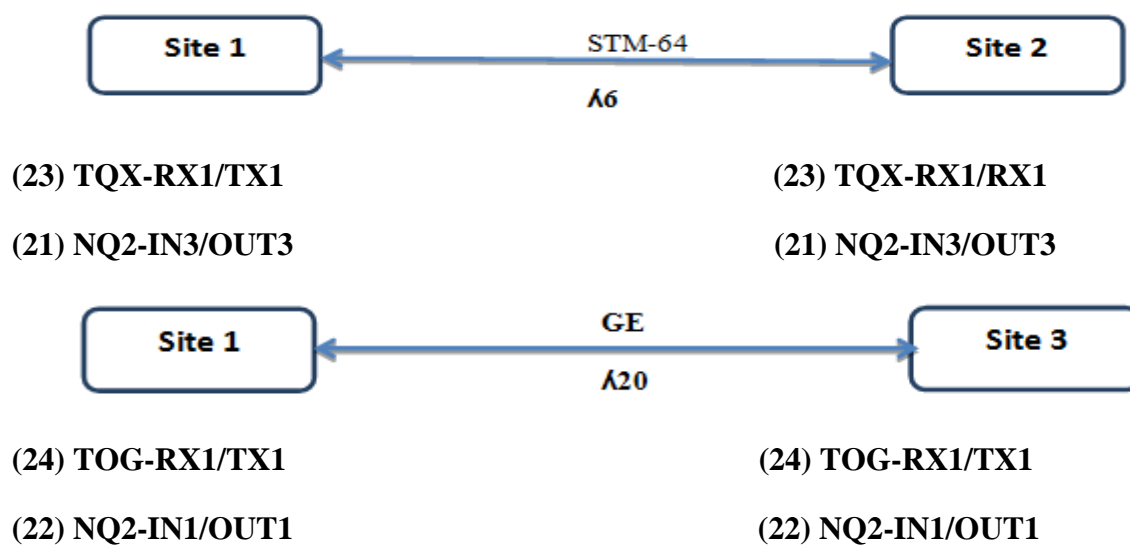


Figure.78. Création des Services GE et STM-64.

Pour crée 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 Interface	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	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	GE(GFP-T)	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	HDTV	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	OC-3	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	OC-12	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	OC-48	-	-	-
NE7185-13-12LQMS	-	-	-	OTU-1	-	-	-

Figure.79. Types de services.

Après, avoir crée la cross connexion électrique entre la carte tributaire et la carte de ligne, ont obtient les paramètres suivants :

- Level (niveau du cross connexion) :
  - Pour les services GE : level= ODU0.

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

Figure.80. Paramètre de service GE.

- Pour le service STM-64 : level = ODU2.

Attribute	Value
Level	ODU2
Service Type	-
Direction	Bidirectional
Source Slot	Shelf0(Master Shelf)-... <input data-bbox="1053 459 1085 481" type="button" value="..."/>
Source Optical Port	202(ClientLP2/ClientLP2)
Source Optical Channel(e....	1
Sink Slot	Shelf0(Master Shelf)-... <input data-bbox="1053 582 1085 604" type="button" value="..."/>
Sink Optical Port	73(ODU2LP3/ODU2LP3)
Sink Optical Channel(e.g. ...	1
ODUflex Timeslots	-
Activate Immediately	Active

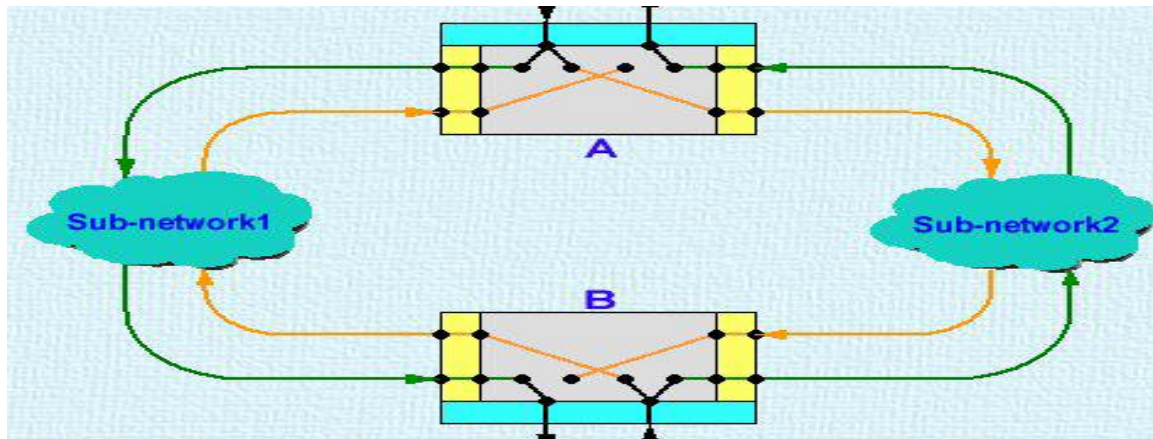
Buttons: OK, Cancel, Apply

**Figure.81.** Paramètre de service STM-64.

- Direction (direction de service) : soit unidirectionnelle ou bidirectionnel.
- 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).

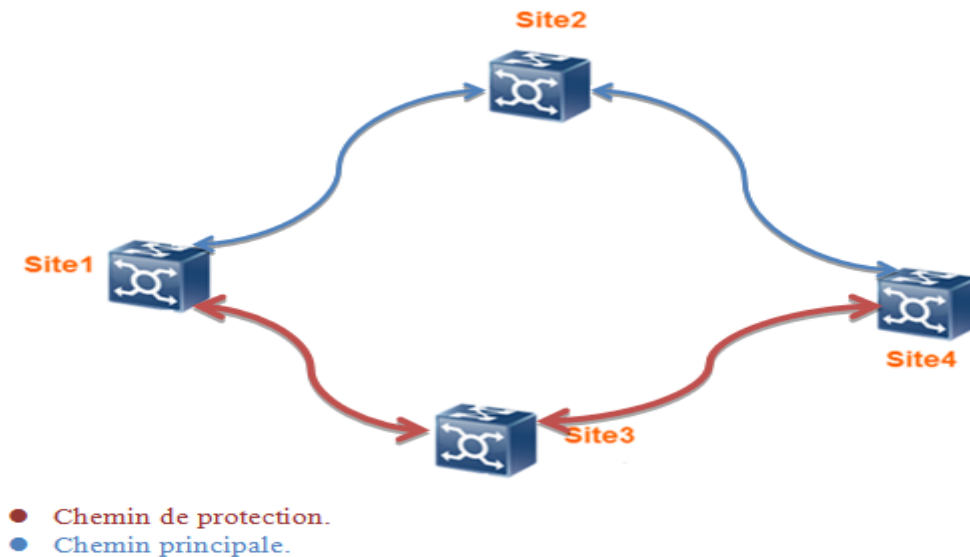
## 9. La protection :

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



**Figure.82.** Le principe de la protection SNCP.

Dans notre cas (NG-WDM) on va créer la protection SNCP de type ODUk. Le chemin principal est de NE °1 vers NE °4 passant par le NE°2, et le chemin de protection est de NE°1 vers NE°4 passant par NE°3.



**Figure.83.** Protection SNCP.

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 :

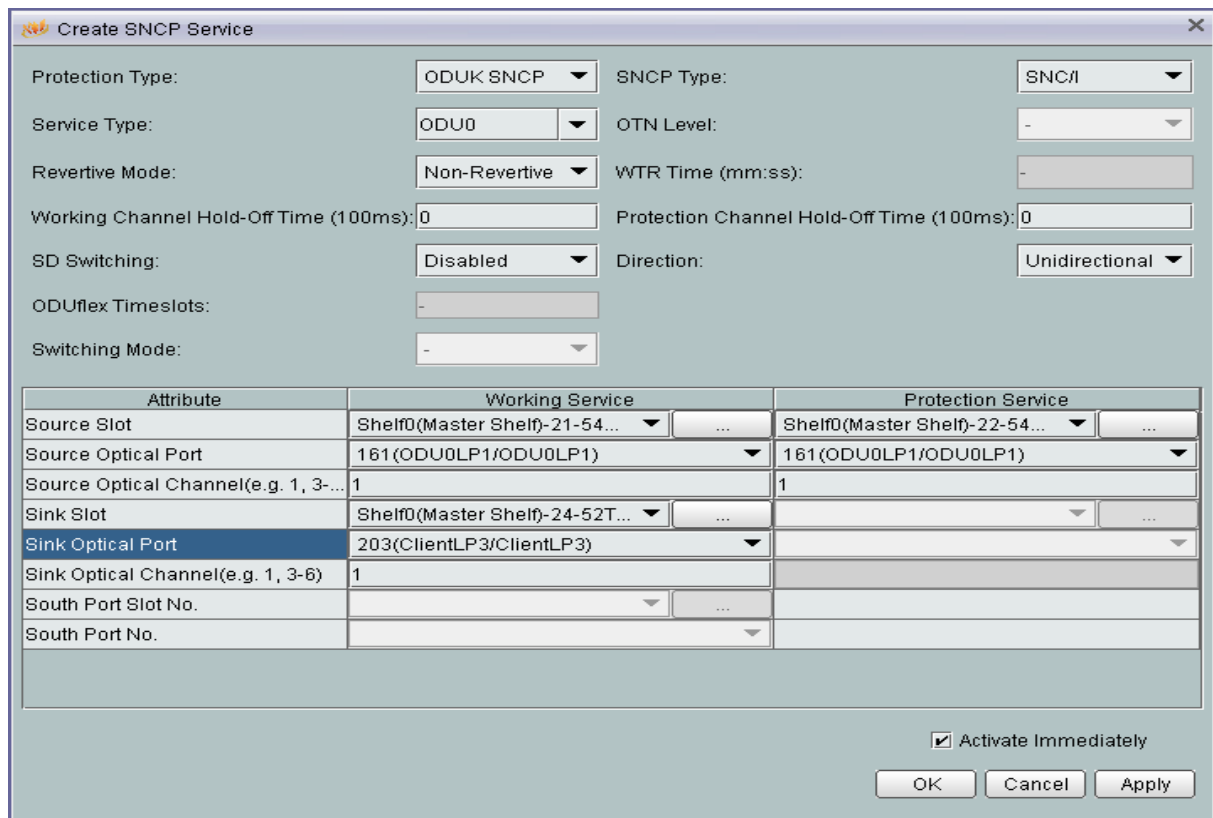


Figure.84. La fenêtre de la carte source et la carte de destination.

### 10. Conclusion

Ce réseau s'appuie sur la Platform OSN880T32 de HUAWEI, qui permet à ALGERIE TELECOM de migrer des services, voix fonctionnant avec le système DWDM existant vers des services de nouvelle génération de type données destinés a ses clients. L'amplitude de la transmission peut être augmenté ainsi ALGERIE TELECOM pourra fournir a ses client des services rapides et de nouvelle génération.

## Conclusion générale

---

Les évolutions des architectures réseau distinguent une couche de transport convergente intégrant les fonctionnalités habituellement réalisées par les couches supérieures. Cette couche de transport utilise la recommandation Optical Transport Network (OTN).

La fibre optique assure les fonctions de transport de l'information. Mais également est utilisée comme moyen intermédiaire dans le multiplexage, le brassage et la supervision des signaux optiques présents dans le réseau.

Notre étude part de deux constatations principales :

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

Les systèmes étudiés s'imposent de plus en plus sur le marché à des prix de plus en plus compétitifs vis-à-vis des dispositifs optoélectroniques.

## **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, universitéMontpellier2 science et technique du Languedoc ,2004-2005.
- [4] : Raffailac baptiste, perrory Thibaud et marchaison, la transmission de l'information numérique, Ed.la réalisation des TPE, 2005-2006.
- [5] : Anthony régis et Romain Venot, les techniques de transmission optique, université de Pau et des pays, 2005
- [6] : Lecoy Pierre, Communication sur la fibre optique, Ed. Lavoisier-hermès, 2014
- [7] : Jean-Paul Gautier, les réseaux optiques, projet réseau académique parisien, société CADA ,1999.
- [8] : Ivain Kesteloot, Stéphane Rzetelny et Eric Jullien, nouvelle technologie réseau SDH, mémoire d'ingénieur professeur, école EISTI, 2012-2013.
- [9] : Bayer Gérard, les réseaux synchrones et entendus PDH et SDH, Ed. Hermès, 1997.
- [10] : Simo Kungne et Hervé Valère, étude de migration de la boucle mètre SDH vers une boucle métro IP, école nationale supérieur des postes et de télécommunication, 2011-2012.
- [11] : Julien Maury, étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique, thèse de doctorat, université de limoges, 2003.
- [12] : HUAWEI technologie CO.LTD, documentation interne : Optix WDM network design basics issue1.01,2009.
- [13] : Huawei technologie CO.LTD, documentation interne : WDM principale ISSU E1.25, 2012.
- [14] : Zhong Shouyi, documentation interne : OTN introduction ISSU E1.04, 2012.
- [15] : Vanelssa, documentation interne : Optix NG-WDM Common data configuration,2011.

[16] : Huawei technologie CO.LTD, documentation interne : Optix NG-WDM électrique layer Data configuration, 2011.

[17] : UIT-T, interfaces pour le réseau de transport optique, ED.UIT.T G.709/Y.1331, 2001.

## Résumé de mémoire :

Les télécommunications utilisent massivement la transmission optique au moyen de liaisons en fibre, permettant d'augmenter le volume et le débit d'informations. Les liaisons intercontinentales sous-marines, les liaisons entre nœuds Internet sont réalisées par fibre optique, et la marche vers le très haut débit conduit à amener la fibre au plus près de l'utilisateur final. L'évolution des diodes laser, l'apparition des amplificateurs optiques ont permis l'amélioration des liaisons de télécommunication. Le SDH pallie les principaux défauts du PDH (Plésiochrone digital hiérarchie) et supporte des débits très élevés. Elle garantit la transmission dans une même trame des services de types et débit différent (parole, images, communications multimédia, interconnexion des réseaux locaux, mode de transmission ATM). La croissance spectaculaire 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 sur une seule fibre, pour cela Une solution alternative est d'utilisé le multiplexage en longueur d'onde (WDM) et L'idée est d'envoyer plusieurs signaux en utilisant différentes longueurs d'ondes dans un multiplex. Comme la technologie des composants optiques a avancé, il est devenu plus économique de transmettre de multiples signaux SONET / SDH sur la même fibre en utilisant un réseau de transport qui a été optimisé par rapport au coût-efficacité des transports transparents d'une variété de signaux des clients sur les réseaux WDM qui était défini par L'UIT-T(union internationale de télécommunication) qui a développé aussi un ensemble de nouvelles normes couvrant les longueurs d'onde et les formats de signaux afin de mieux soutenir le multiplexage d'un nombre important de signaux sur une seule fibre et cette nouvelle génération du NG-WDM est basée sur les technologies suivantes : l'OTN la cross-connexion optique, (ROADM) la cross-connexion électrique, et l'ASON ainsi l'architecture de ce réseau est bien distingué de l'organisation de réseau en ce sens que les ressources utilisables sont désormais limitées à celles présentes dans le réseau et 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.