

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunications

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : Hamdaoui Manel
Hadjoui Ikram

Sujet

Etude et Simulation d'un routeur optique

Soutenu publiquement, le 14 / 06 / 2023, devant le jury composé de :

Mr. KARIM. F

Mr. CHIKH BLED. *M^{ed}*

Mr. KHELLADI. M

Prof

Prof

MCA

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Université de Tlemcen

Président

Examineur

Encadreur

Année universitaire : 2022 /2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord Dieu tout puissant de nous avoir donné la foi, la force et la patience d'achever ce modeste travail.

*Nos remerciements les plus sincères vont à « **Mr. khelladi Mounir** », maître de conférence à l'Université Abou-Bekr Belkaid, notre encadreur, pour ces conseils précieux, et pour tous ses efforts et la confiance qu'il nous accorde durant notre étude et réalisation de ce projet.*

*Nos vifs remerciements aux membres du jury : « **Mr. Karim Fethallah** », professeur à l'Université Abou-Bekr Belkaid d'avoir accepté de présider le jury. Et « **Mr. Chikh Bled Mohammed El kebir** », professeur à l'Université Abou-Bekr Belkaid d'avoir accepté d'examiner notre travail. Un grand merci à tous les professeurs de Télécommunications qui ont participé à notre progrès pendant ces cinq ans.*

On tient à adresser nos profonds extrêmes et gratitude à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire et les enseignants qui ont participé à nos formations soient sincèrement remerciés.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents

Qui ne m'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

Mes chers frères et ma chère sœur,

Pour ses soutiens moraux et leurs conseils précieux tous au long de mes études.

Mes chères amies,

Pour leurs aides et supports dans les moments difficiles et à qui je souhaite plus de succès.

À ma famille, mes proches et à ceux qui me donnent de l'amour et de la vivacité.

Hamdaoui Manel

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes très chers parents,

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour mon bien-être, je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance.

A mon cher frère, Ali,

A ma chère sœur, Mimi,

Qu'ils trouvent ici l'expression de nos sentiments de respect et de reconnaissance

Pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A la mémoire de mon grand-père et de mes oncles,

Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde,

A mes chers grands-parents, oncles et tantes, cousins et cousines surtout Nihed, Djihene, Amar, Noubia et chiheb pour leur soutien et leur amour,

A mon cher oncle, Hamid,

A ma chère cousine, Hadjer,

Merci énormément pour votre soutien plus que précieux,

A ma binôme Manel et sa famille,

A mes amies, Ikram, Souhila, Asma et Soumia qui m'ont toujours encouragé, et à qui je souhaite plus de succès.

Hadjoui Ikram

SOMMAIRE

Remerciement

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction générale

Chapitre I : Réseaux de transport optiques.....	3
I.1 Introduction	4
I.2 Systèmes SONET/SDH	4
I.2.1 Trame SDH	5
I.3 Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH	6
I.3.1 Différence entre PDH et SDH.....	8
I.4 Equipements d'interconnexion optique.....	9
I.4.1 Multiplexeur à insertion-extraction SADM (SONET Add-Drop Multiplexer) 9	
I.4.2 Connecteur numérique croisé DXC (Digital Cross Connect).....	9
I.4.3 Plateforme de transport multiservice MSPP (MultiService Provisioning Platform) 10	
I.4.4 Connecteur optique croisé OXC : Optical Cross Connect.....	11
I.5 Evolution des réseaux de transport optique	14
I.5.1 Architecture de transport.....	14
I.5.2 Techniques de commutation optique	18
I.6 Conclusion.....	22
Chapitre II : Technologie WDM pour les communications avancées	23
II.1 Introduction	24
II.2 Multiplexages optiques.....	24
II.2.1 Principe du multiplexage WDM	24
1. Avantages	29
2. Inconvénients	29
II.2.2 Multiplexage par division dans le temps TDM.....	31
II.2.3 Comparaison entre TDM et WDM	31
II.2.4 Limitation du nombre de canaux WDM	32
II.3 Réseaux tout-optiques.....	33
II.3.1 Réseaux à fibre optique.....	34
II.3.2 Liaison tout-optique	34
II.4 Commutateurs optique.....	35
II.4.1 Répartiteur.....	35
II.4.2 Multiplexeur insertion/extraction (MIE/OADM)	37
II.4.3 Brasseur.....	37

II.5	Convertisseurs optiques	41
II.5.1	Conversion optoélectronique	41
II.5.2	Conversion tout-optique.....	42
II.5.3	Brasseur convertisseur	42
II.6	Conclusion.....	43
Chapitre III : Technique de multiplexage optique à insertion-extraction.....		44
III.1	Introduction	45
III.2	Types de routages optiques	45
III.2.1	Routage fixe	45
III.2.2	Routage alternatif fixe.....	46
III.2.3	Routage moins d'encombrement	46
III.2.4	Routage adaptatif	47
III.3	Multiplexeur OADM vs ROADM	48
III.3.1	Multiplexeur à insertion-extraction OADM	48
III.3.2	Application de l'OADM	53
III.3.3	Types d'OADM	54
III.3.4	Multiplexage à Insertion/Extraction optique reconfigurable (ROADM)....	54
III.4	Conclusion.....	57
Chapitre IV : Simulation et Interprétations des résultats		58
IV.1	Introduction	59
IV.2	Présentation du logiciel Optisystem	59
IV.2.1	Principales caractéristiques du logiciel Optisystem.....	59
IV.2.2	Application d'Optisystem	60
IV.3	Simulations	61
IV.3.1	Bloc 1	61
IV.3.2	Bloc 2	63
IV.4	Analyse et interprétations des résultats	63

Conclusion générale

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Exemple d'un réseau SDH	5
Figure I.2 : Structure de la trame SDH.....	6
Figure I.3: Système PDH	7
Figure I.4: Multiplexeur à insertion-extraction SONET (SADM).....	9
Figure I.5 : Connecteur croisé numérique DXC	10
Figure I.6: Plateforme de transport multiservice MSPP	11
Figure I.7: Connecteur croisé optique OXC.....	12
Figure I.8 : Commutateur optique	12
Figure I.9 : Commutateur photonique	13
Figure I.10 : Commutateur hybride.....	14
Figure I.11 : Représentation d'un réseau optique opaque.....	15
Figure I.12 : Représentation d'un réseau optique transparent	16
Figure I.13: Représentation d'un réseau translucide.....	17
Figure I.14 : Commutateur de circuit	18
Figure I.15 : Commutateur de paquet.....	19
Figure I.16 : Commutation optique de rafale	21
Figure I.17 : Contrôle de rafale dans une architecture OBS	22
Figure II.1 : Représentation schématisée d'une liaison WDM	25
Figure II.2 : Fonctionnement d'un prisme	26
Figure II.3 : Schéma d'un AWG adapté à la plage spectrale visible	27
Figure II.4 : Comparaison des espacements entre canaux dans le cas du DWDM et CWDM	28
Figure II.5: Principe du multiplexage TDM.....	31
Figure II.6 : Atténuation de la fibre en fonction de la longueur d'onde	33
Figure II.7 : Structure d'un réseau tout-optique.....	34
Figure II.8 : Types de la fibre optique.....	34
Figure II.9 : Liaison tout-optique	35
Figure II.10 : Principe d'un répartiteur (F-OXC)	36
Figure II.11 : Port et états d'un répartiteur (F-OXC).....	36
Figure II.12 : Multiplexeur à insertion-extraction.....	37
Figure II.13 : Brasseur optique 3x3 avec 2 longueurs d'ondes.....	40
Figure II.14 : Architecture de réseau tout-optique WDM.....	40
Figure III.1 : Les itinéraires fixes/ primaires (ligne rouge continue), alternatif (ligne verte en pointillés) et adaptatifs (ligne bleu en pointillés) sont représentés entre la ville source CA et la ville de destination L	47
Figure III.2 : Structure d'un OADM.....	49
Figure III.3 : Principe d'un OADM	50
Figure III.4 : Circulateur optique	50
Figure III.5 : Représentation schématique d'un réseau de Bragg inscrit au cœur d'une fibre optique.....	51
Figure III.6 : Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales	52
Figure III.7 : Schéma d'un OADM à base de réseau de Bragg et des circulateurs optiques	53
Figure III.8 : Application de l'OADM.....	53
Figure III.9 : Schéma d'un ROADM 2X1	55

Figure III.10 : Structure d'un ROADM	56
Figure IV.1 : L'interface de l'OPTISYSTEM.....	60
Figure IV.2 : Schéma d'un routeur OADM	61
Figure IV.3 : Partie insertion des longueurs d'ondes.....	62
Figure IV.4 : Partie extraction des longueurs d'ondes.....	62
Figure IV.5 : Structure d'un OADM.....	63
Figure IV.6 : Analyseur optique au niveau de l'émetteur.....	64
Figure IV.7 : Insertion des longueurs d'ondes 1551.1 figure(a) et 1551.2 figure (b).....	64
Figure IV.8 : Extraction des longueurs d'ondes	65
Figure IV.9 : Extraction des longueurs d'ondes, 1551.2 figure (a) et 1551.3 figure (b)	65
Figure IV.10 : Spectre optique avec longueur de fibre de 50 km	66
Figure IV.11 : Spectre optique avec longueur de fibre de 80 km	67
Figure IV.12 : Spectre optique avec un gain de 20 dB	67
Figure IV.13 Spectre optique avec une puissance de 5mW	68

Liste des Tableaux

Tableau I.1: Différents niveaux de la SONET/SDH	5
Tableau I.2: PDH vs SDH	8
Tableau I.3: Pour et contre associés à un réseau de transport de type opaque et transparent [7].	16
Tableau I.4: Comparaison entre la commutation de circuit et la commutation de paquet	20
Tableau II.1 : Comparaison entre la technique CWDM et DWDM.....	30

Liste des abréviations

A

- **ATM** Asynchronous Transfer Mode.
- **ADM** Add Drop Multiplexer.
- **AR** Adaptive Routing.

C

- **CWDM** Coarse Wavelength Division Multiplexing.

D

- **DWDM** Dense Wavelength Division Multiplexing.
- **DCS** Sonet Digital Cross-Connect.
- **DEMUX** Démultiplexeur.

E

- **EDFA** Erbium Doped Fiber Amplifier.

F

- **FDDI** Fiber Distributed Data Interface.
- **FOADM** Optical Add Drop Multiplexer fixe.
- **F-OXC** Fiber Optical Cross-Connect.
- **FR** Fixed Routing.
- **FAD** Alternative Fixed Routing.
- **FBG** Fibre Bragg Grating.

L

- **LCR** Less Clutter Routing.
- **LAN** Local Area Network.
- **LASER** Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.
- **LD** Diode Laser.
- **LED** Light Emitting Diode.

M

- **MUX** Multiplexeur.
- **MMF** Multi Mode Fiber.
- **MSPP** Multiservice Provisionning Platform.
- **MIE** Multiplexeur à insertion /extraction.

O

- **OTN** Optical Transport Network.
- **OC-n** Optical Carrier, niveau n.
- **OEO** Optique Electrique Optique.
- **OCS** Optical Control Systems.
- **OPS** Optical Protection Switch.
- **OBS** Optical Burst Switching.
- **OXC** Optical Cross Connect.
- **OWAN** Optical Wide Area Network.
- **OADM** Optical Add Drop Multiplexing.
- **OptiSystem** Optical Communication System Design Software.

P

- **PDA** Photodiode à avalanche.
- **PIN** Positive Intrinsic Negative Photodiode.
- **POH** Path Overhead.

R

- **ROADM** Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer.

S

- **SDH** Synchronous Digital Hierarchy.
- **SONET** Synchronous Optical NETwork.
- **SADM** Sonet Add/Drop Multiplexer.
- **STS MUX** Synchronous Transport Signal Multiplexer.
- **STS DEMUX** Synchronous Transport Signal Demultiplexer.
- **STM-n** Synchronous Transport Module, niveau n.
- **STS-1** Synchronous Transport Module, niveau 1.
- **STS-4** Synchronous Transport Module, niveau 4.
- **STS-16** Synchronous Transport Module, niveau 16.
- **SOH** Section OverHead.
- **SMF** Single Mode Fiber.

T

- **TDM** Time Division Multiplexing.

V

- **VC** Optical Container.

W

- **WDM** Wide Wavelength Division Multiplexing.
- **WT-OXC** Wavelength Translating Optical Cross Connect.
- **WDM** Wavelength Division Multiplexing.

Introduction générale

En raison du besoin croissant de service de communication, l'axe de recherche des télécommunications optiques se concentre sur le développement d'appareils, de protocoles et d'architectures de réseau de communication qui transfèrent des informations via des fibres optiques. L'objectif principal est d'améliorer l'efficacité spectrale des transmissions à haut débit grâce à des systèmes de multiplexage et des fibres spécialisées. En 1970, l'introduction des communications optiques qui reposent sur la lumière pour transmettre des données d'un lieu à un autre en des distances de quelques kilomètres à des milliers de kilomètres, a considérablement amélioré les systèmes de communications et les rendant plus rapides et plus sûrs.

Aujourd'hui la technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) est disponible pour répondre aux besoins des entreprises et des centres de données privées. Car c'est le moyen le plus efficace pour maximiser la bande passante. La spécificité des standards WDM est enracinée dans la capacité à transmettre un large éventail de données via des réseaux à fibre optique, en utilisant le support de la lumière. Ainsi, plusieurs canaux de lumière, chacun avec une longueur d'onde unique, peuvent être envoyés simultanément sur une seule fibre optique. Cela élimine le besoin d'utiliser de nombreuses fibres pour des services individuels, car une seule fibre peut être utilisée pour plusieurs services.

On outre, le plan de ce mémoire sera composé de quatre chapitres.

Dans le premier chapitre de ce travail nous étudions les réseaux à longue distance. Dans un premier temps, nous décrivons leurs équipements d'interconnexion, leurs différentes techniques de commutations optiques ainsi que leurs différentes solutions d'architectures de transport.

Le deuxième chapitre concentre sur la technologie WDM. Nous présentons les principaux types de multiplexage, à savoir TDM et WDM et les comparons pour justifier le choix du WDM. Ensuite, nous discutons également de la nature des réseaux tout optique qui utilisent des fibres optiques comme support de transmission. Et enfin, les équipements essentiels du réseau WDM pour assurer une transmission efficace des données, qui sont les commutateurs optiques et les convertisseurs optiques.

Introduction générale

Le troisième chapitre traite les différents types de routages optiques, et l'étude des deux multiplexeurs à insertion extraction OADM et ROADM, en présenté leurs avantages de l'un par rapport à l'autre.

Enfin, dans le dernier chapitre intitulé simulation, nous présentons logiciel Optisystem. Puis notre simulation d'un routeur optique en changeant de la longueur de la fibre optique (50 km à 100 km), la valeur du gain d'amplificateur (10 dB à 20 dB) et de la puissance de la diode laser (1mW à 5 mW).

**Chapitre I : Réseaux de transport
optiques**

I.1 Introduction

Dans le monde des télécommunications, les réseaux de transport optiques OTN (Optical transport network) qui sont des protocoles de transmission sur des liaisons en fibre optique, représentent un ensemble d'éléments optiques qui communiquent en interne à l'aide du multiplexage par répartition en longueur d'onde WDM. Ces réseaux ont évolué aujourd'hui en conséquence d'un haut débit et d'une mise en œuvre de qualité parfaite avec une rapidité de transmission.

Dans ce premier chapitre on va essayer de définir la conception des réseaux OTN qui nécessite de connaître le système SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et les équipements d'interconnexion optique. Ainsi, l'architecture de transport.

I.2 Systèmes SONET/SDH

La hiérarchie numérique synchrone SDH, est une technologie de transmission de données à longue distance, a été normalisé au niveau international dans les années 1990 pour une utilisation dans les réseaux mondiaux de télécommunications, compatible avec l'ancienne hiérarchie des transmissions numériques plésiochrone PDH et les réseaux de données à débit élevée (Ethernet, FDDI, etc.). Elle a été conçue à l'origine comme une infrastructure de transmission pour les réseaux ATM, mais elle peut également transmettre directement des trames IP [1]. Depuis leur lancement, SDH et sa variante SONET (utilisée en Amérique du Nord) ont amélioré les performances des réseaux de communications basés sur les fibres optiques.

La SDH est organisée en plusieurs niveaux (trames) STM-n, le niveau de base est STM-1 (Synchronous Transport Module) à 155,52 Mbit/s. Les niveaux situés au-dessus du STM-1, appelé STM-n, sont obtenus par multiplexage synchrone par octets de n trames. Les trames STM-1 sont identiques à celle du OC-3 de SONET.

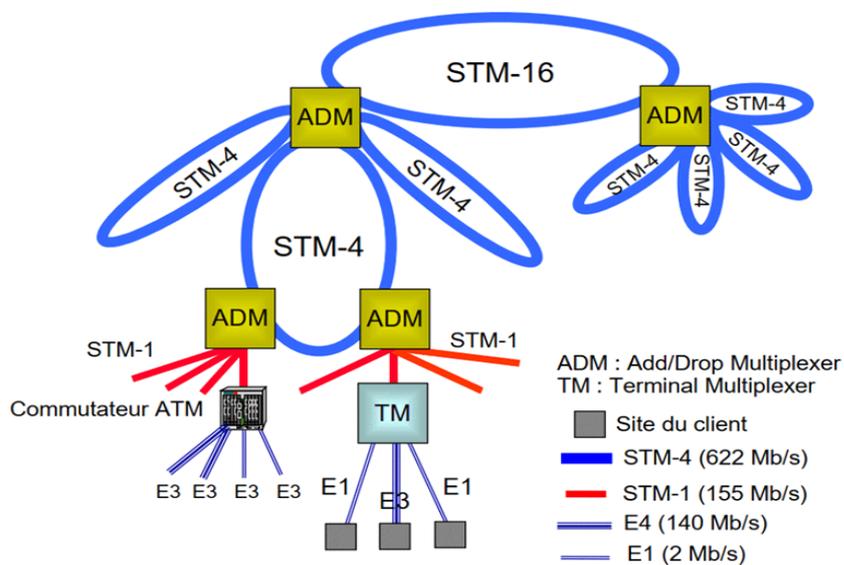


Figure I.1 : Exemple d'un réseau SDH

Nom SDH	Nom SONET	Débit en Mbits/s
STM-1	OC-3	155,52
STM-4	OC-12	622,08
STM-16	OC-48	2 488,32
STM-64	OC-192	9 953,28
STM-256	OC-768	39 813,12

Tableau I.1: Différents niveaux de la SONET/SDH

I.2.1 Trame SDH

En STM-1, la trame de base a une durée de $125\mu\text{s}$ (période d'échantillonnage de la parole en téléphonie numérique), de taille 2430 octets (9 lignes x 270 colonnes). Les 9 premières colonnes d'en-tête constituent la section OverHead (SOH), qui contient la synchronisation, les canaux de données auxiliaires, les mots de parité pour la détection d'erreurs et les informations pour la surveillance de la qualité de transmission et la gestion de la sécurité du réseau. Cet en-tête est divisé en deux niveaux : la section de régénération (entre 2 régénérateurs) et la section de multiplexage (entre 2 multiplexeurs).

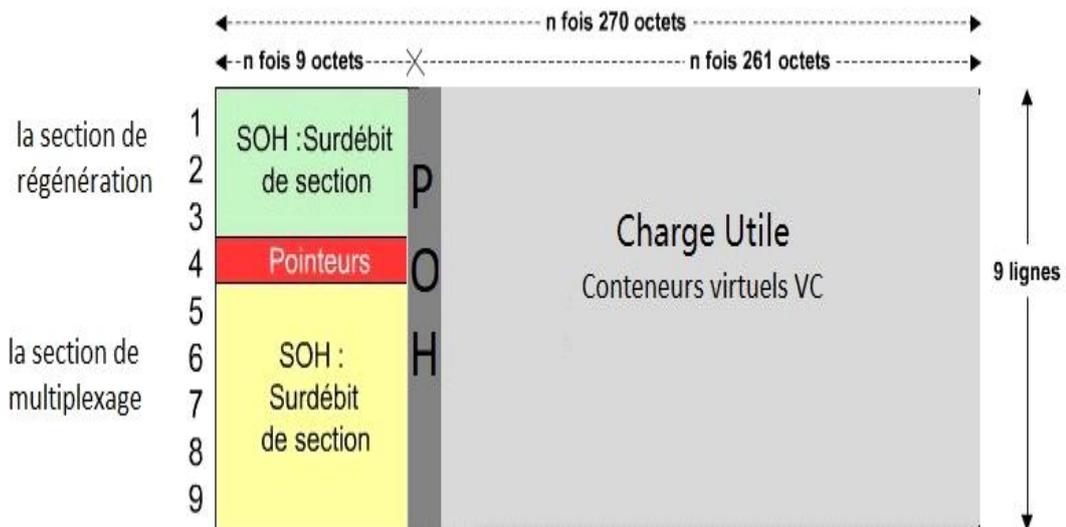


Figure I.2 : Structure de la trame SDH

Les 261 octets de la charge utile sous forme de "conteneurs virtuels" (VC), où 260 colonnes de 9 octets et la première colonne de chaque VC (appelée POH : Path Overhead) contient des informations sur le conteneur et est envoyée de bout en bout avec son contenu, contrairement à SOH. La position de départ du VC identifiée par le POH peut dériver dans une trame STM-1 si les horloges ne sont pas parfaitement synchronisées. C'est ce qu'on appelle le plésiochronisme et il est géré par un ensemble de pointeurs dans l'en-tête [1].

I.3 Hiérarchie Numérique Plésiochrone PDH

La hiérarchie numérique plésiochrone ou PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) est une technique utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec *plesio* (proche) et *chronos* (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments identiques mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local.

Les versions européennes et américaines du système diffèrent légèrement mais reposent sur le même principe, nous décrirons ici le système européen.

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la

Réseaux de transport optique

synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de données dont le protocole s'occupera du contrôle.

Le débit exact des données dans le flux de 2 Mbit/s est contrôlé par une horloge dans l'équipement générant les données. Le débit exact varie légèrement autour de 2 048 kbit/s (± 50 ppm).

Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de decoder le flux multiplexé.

Chaque flux de 2 Mbit/s n'étant pas nécessairement au même débit, des compensations doivent être faites. L'émetteur combine les quatre flux en assumant qu'ils utilisent le débit maximum autorisé. Occasionnellement le multiplexeur essaiera donc d'obtenir un bit qui n'est pas encore arrivé ! Dans ce cas, il signale au récepteur qu'un bit est manquant ce qui permet la reconstruction des flux à la réception.

La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s.

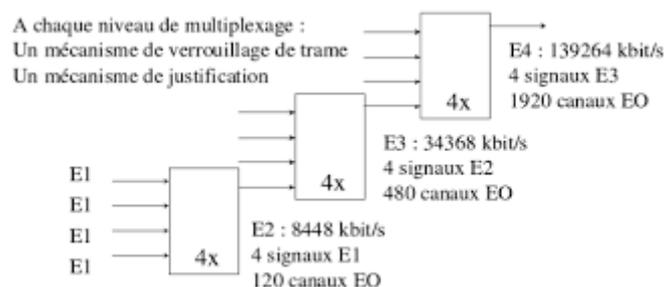


Figure I.3: Système PDH

Ces débits sont nommés E_i avec :

- E_1 correspondant à 2 048 kbit/s
- E_2 correspondant à 8 Mbit/s

Réseaux de transport optique

- E₃ correspondant à 34 Mbit/s
- E₄ correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé)
- 560 Mbit/s n'ayant jamais été normalisé, bien que mis en œuvre sur TAT-9, TAT-10, liaisons sous-marines transatlantiques 1992).

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s après quoi on lui préfère la SDH.

I.3.1 Différence entre PDH et SDH

Le tableau suivant compare PDH et SDH en ce qui concerne divers paramètres et mentionne les différences entre PDH et SDH sous la forme du tableau ci-dessous [2] :

PDH	SDH
Hiérarchie numérique plésiochrone	Hiérarchie numérique synchrone
En PDH, l'horloge de référence n'est pas synchronisée sur l'ensemble du réseau.	En SDH, l'horloge de référence est synchronisée sur l'ensemble du réseau
Il n'y a pas de synchronisation entre la charge utile et la trame.	Il y a une synchronisation entre la charge utile et la trame.
Le système PDH a des structures de trame différentes à différents niveaux hiérarchiques.	Le système SDH a des structures de trame cohérentes tout au long de la hiérarchie.
Les connexions physiques croisées sont fournies au même niveau dans le PDH.	Les connexions numériques croisées sont fournies à différents niveaux de signal dans le système SDH.
En PDH, les débits sont dérivés du débit de base de 1,544 Mbps. La capacité maximale est d'environ 566 Mbps.	En SDH, les débits sont dérivés du débit de base de 155,52 Mbps. Les débits maximums jusqu'à 40 Gbps peuvent être dérivés du débit de base mentionné.
Il n'existe pas de norme universelle pour le PDH.	Il existe une norme universelle pour le SDH.
Le PDH est incompatible avec d'autres signaux tels que l'ATM, le FDDI, le DQDB, etc.	Le SDH est compatible avec d'autres signaux tels que l'ATM, le FDDI, le DQDB, etc.
La méthode de multiplication utilisée dans le PDH est complexe.	La méthode de multiplication utilisée par le SDH est simple.
Le coût de mise en œuvre du PDH est inférieur.	Le coût de mise en œuvre du SDH est plus élevé.

Tableau I.2: PDH vs SDH

I.4 Equipements d'interconnexion optique

I.4.1 Multiplexeur à insertion-extraction SADM (SONET Add-Drop Multiplexer)

Un SADM est un multiplexeur de signaux optiques qui insère et extrait des signaux. Les SADMs agissent comme un point d'accès au réseau pour les signaux client à faible débit. Ils combinent plusieurs signaux à bas débit en un signal à haut débit grâce à la technique de multiplexage TDM (Time Division Multiplexing). Les SADMs transfèrent les signaux des clients au transport électrique en convertissant les signaux optiques via un nœud. Ils éliminent les données qui ont atteint leur destination. Puis, ils chargent également les données nouvellement acquises sur le signal de transport électrique. Ensuite, le nœud convertit le signal électrique en un signal optique, et enfin, le signal de transmission optique haut débit résultant est injecté dans la fibre correspondante en sortie du nœud pour atteindre le nœud suivant [3].

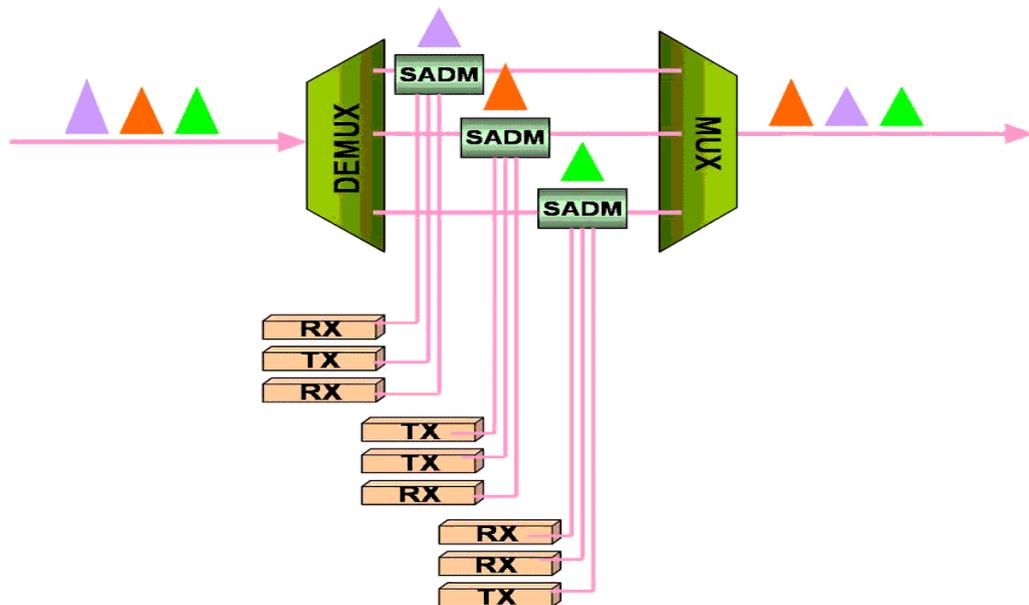


Figure I.4: Multiplexeur à insertion-extraction SONET (SADM)

I.4.2 Connecteur numérique croisé DXC (Digital Cross Connect)

Un connecteur numérique croisé (DXC) est un dispositif de commutation utilisé sur de grands nœuds de réseau pour connecter une série de circuits entrants et sortants. L'interconnexion de circuits est effectuée pendant l'approvisionnement du circuit, mais l'interconnexion est

également généralement utilisée pour mettre en œuvre divers schémas de commutation de protection et de récupération du réseau [4].

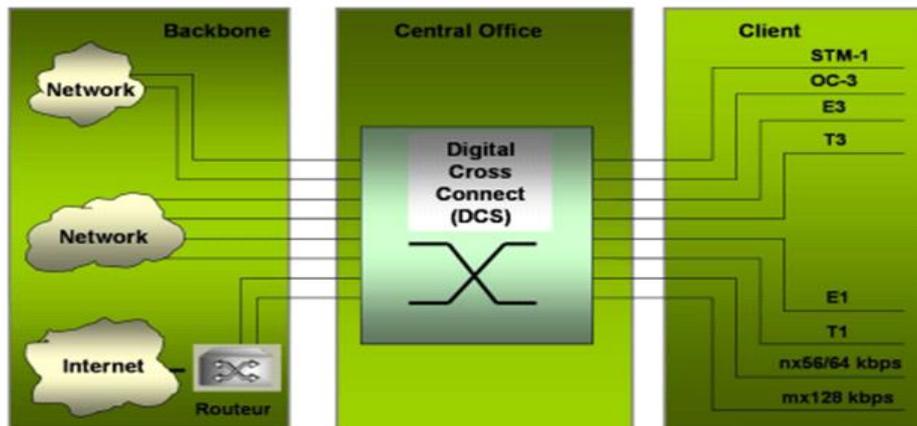


Figure I.5 : Connecteur croisé numérique DXC

Sur le marché SDH, l'abréviation "DXC" est utilisée pour les interconnexions numériques tandis que dans le monde SONET, elle est appelée DCS (Digital Cross Connect System).

I.4.3 Plateforme de transport multiservice MSPP (MultiService Provisioning Platform)

Le MSPP (Multiservice Provisioning Platform) prend en charge conjointement les protocoles SDH/SONET et WDM. Cela permet aux signaux à faible débit binaire d'être regroupés en signaux WDM à haut débit binaire. Il est livré avec des cartes client prenant en charge les protocoles Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, Fibre Channel, FICON et ESCON. D'autres cartes client prennent également en charge les signaux DS-1, DS-3, OC-1, OC-3, OC-12 et OC-48, et les capacités optiques OC-48, OC-192 et OC-768 par des cartes de transport compilées par une carte DXC. Et d'autres cartes fonctionnant comme un OADM, un multiplexeur et démultiplexeur en longueur d'onde, La figure suivante montre l'architecture de le MSPP.

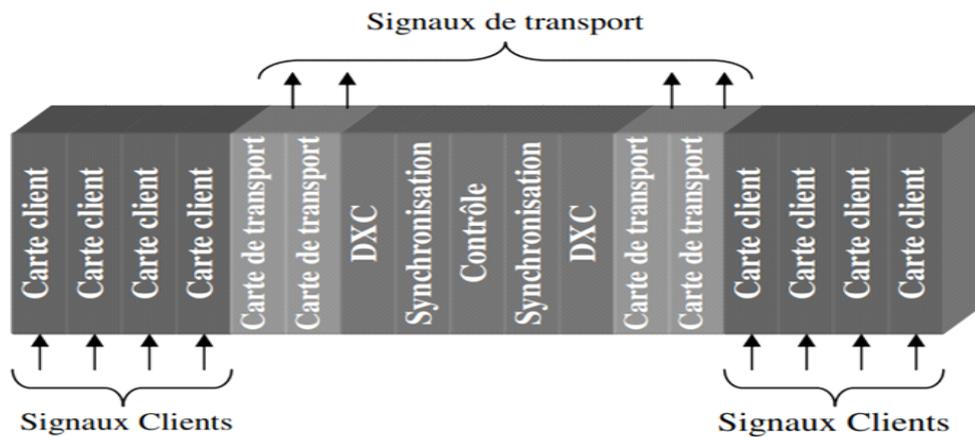


Figure I.6: Plateforme de transport multiservice MSPP

La configuration des cartes de transport c'est ce qui définit la couche réseau du réseau optique WDM. Toutes ces cartes sont dupliquées pour assurer une communication ininterrompue en cas de panne [5].

I.4.4 Connecteur optique croisé OXC : Optical Cross Connect

Les OXC sont placés aux nœuds pour assurer le routage des longueurs d'onde d'une direction (liaison à fibre) à une autre. Les fonctionnalités d'OXC peuvent être résumées en trois tâches principales :

- Démultiplexage du signal composite de la liaison d'entrée au nœud. En fait, on peut supposer que tous les signaux composites arrivant au nœud sont démultiplexés en longueurs d'ondes individuelles acheminées vers le commutateur optique.
- Multiplexage de signaux individuels en un signal composite pour transmission sur une liaison de sortie.
- Commutation de longueur d'onde optique où chaque une provenant de l'ADM (mode d'ajout) ou de la liaison d'entrée après le démultiplexeur) est acheminée vers sa direction réelle [6]

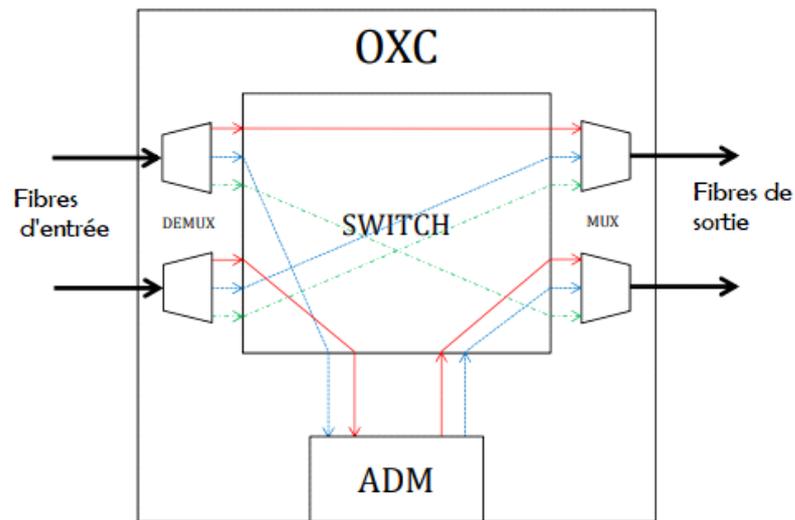


Figure I.7: Connecteur croisé optique OXC

L'implémentation d'un OXC peut se faire soit dans le domaine électronique, soit dans le domaine optique [3] :

I.4.4.1 Commutateur opaque (EXC)

Le processus de commutation dans un commutateur électrique (EXC) est exécuté via une commutation optique-électrique-optique (OEO). Cela signifie que tous les signaux optiques qui sont entrés sont d'abord convertis en signaux électriques après leur passage dans des démultiplexeurs. Ensuite, un module électrique commute lesdits signaux électriques vers des sorties de fibre dans le module de commutation.

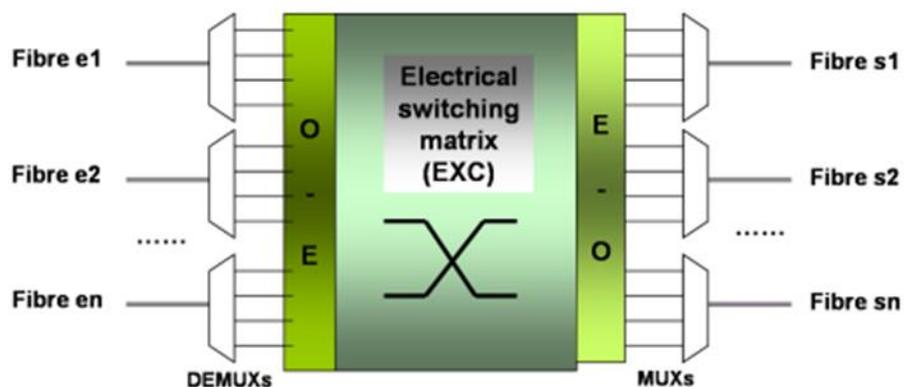


Figure I.8 : Commutateur optique

Enfin, les signaux électriques sont reconvertis en signaux optiques, qui sont ensuite multiplexés par des multiplexeurs optiques.

I.4.4.2. Commutateur tout-optique

Un commutateur optique est implémenté en utilisant un ensemble de miroirs MEMS (Microelectromechanical System) qui peuvent être disposés en matrices 2D ou 3D. Le coût d'une interconnexion optique est déterminé par le nombre de miroirs MEM et de ports d'entrée/sortie. Lors de l'utilisation d'un commutateur tout optique, les signaux de transport sont d'abord démultiplexés, puis les longueurs d'onde résultantes sont commutées par un module optique. Les signaux optiques sont ensuite multiplexés vers les sorties fibre choisies.

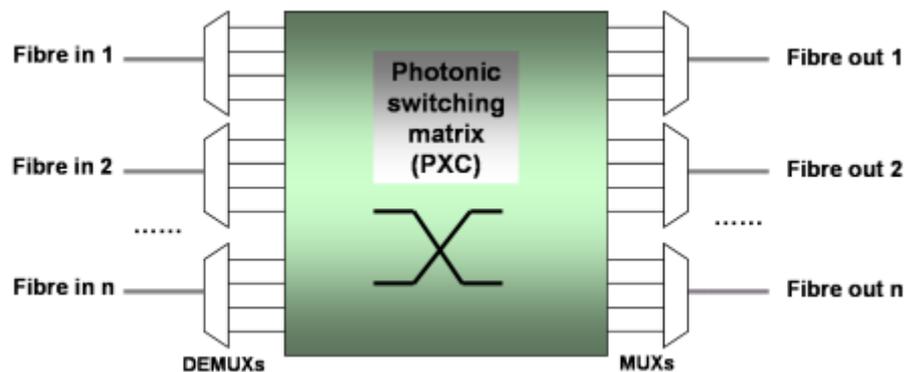


Figure I.9 : Commutateur photonique

Lorsqu'il est fait référence à un commutateur tout optique, il est aussi appelé commutateur photonique (PXC) ou transparent.

I.4.4.3. Commutateur hybride (OXC Translucide)

Un OXC Translucide est une solution intermédiaire entre un OXC opaque et un OXC transparent. Ce type d'OXC utilise un commutateur hybride qui comprend à la fois un module optique et un module électrique. Les signaux qui sont transmis optiquement peuvent être dirigés à travers le module optique ou électrique. Généralement, le module optique est le choix préféré pour des raisons de coût et de transparence. Le module électronique est utilisé lorsque toutes les interfaces optiques du module de commutation sont occupées ou

également placés entre deux points d'entrée lorsque la distance qui les sépare est trop importante pour transmettre le signal optique de bout en bout sans erreur.

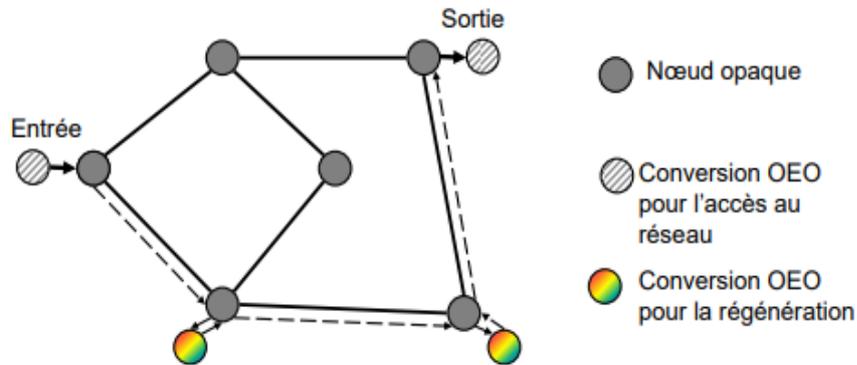


Figure I.11 : Représentation d'un réseau optique opaque

En résumé, comme le montre schématiquement la figure I.11, le réseau opaque assure la conversion optoélectronique à chaque nœud qu'il traverse, et vice versa. Dans cette figure, le réseau considéré est constitué de 6 nœuds (disques gris) et de 7 liens (lignes noires). Les signaux sont acheminés des nœuds d'entrée vers les nœuds de sortie. Les trajets des signaux sont indiqués par des lignes pointillées. Les disques gris indiquent des manipulations optoélectroniques systématiques [7].

I.5.1.2 Réseaux transparents

Un réseau optique transparent signifie qu'il n'y a pas de conversion électronique dans le signal optique. Cela rend le signal optique plus efficace pour tous les nœuds du réseau. Étant donné que la transmission de données ne nécessite pas de conversion optoélectronique, les vitesses de transmission augmentent. Cela rend le réseau plus efficace et la consommation d'énergie plus faible. Il permet également de créer une connexion optique couvrant l'ensemble du réseau [8].

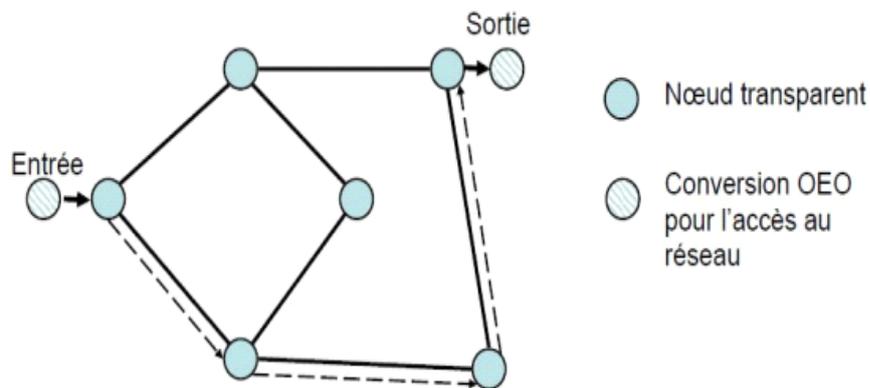


Figure I.12 : Représentation d'un réseau optique transparent

La transparence peut s'appliquer non seulement à l'absence de conversion optoélectronique, mais aussi à d'autres niveaux, par exemple :

- la transparence des dispositifs réseau au format de transmission (SDH, ATM, PDH,..)
- la transparence des dispositifs réseau haut débit binaire (155 Mbit/s, 10 Gbit/s,..)
- la transparence des dispositifs réseau au format de modulation (RZ, NRZ, CSRZ,...) [7].

	Opaque	Transparent
Limitation sur le format du signal	Oui	Non
Limitation sur le débit	Oui	Non
Limitation sur la distance de transmission	Non	Oui
Contrainte sur la longueur d'onde	Non	Oui
Limitation sur la gestion	Non	Oui
Surcoût dû aux nombre d'interfaces OEO	Oui	Non

Tableau I.3: Pour et contre associés à un réseau de transport de type opaque et transparent [7].

I.5.1.3 Réseau translucide

On appelle un réseau translucide (hybride) lorsqu'il utilise une combinaison des dispositifs opaques et des dispositifs transparents. Cela peut se traduire par :

Réseaux de transport optique

- Des nœuds sont entièrement opaques et d'autres nœuds sont entièrement transparents, créant un réseau avec des îlots transparents.
- Des nœuds hybrides capables de gérer des signaux de manière opaques (avec conversion OEO) et transparents (pour le transit).

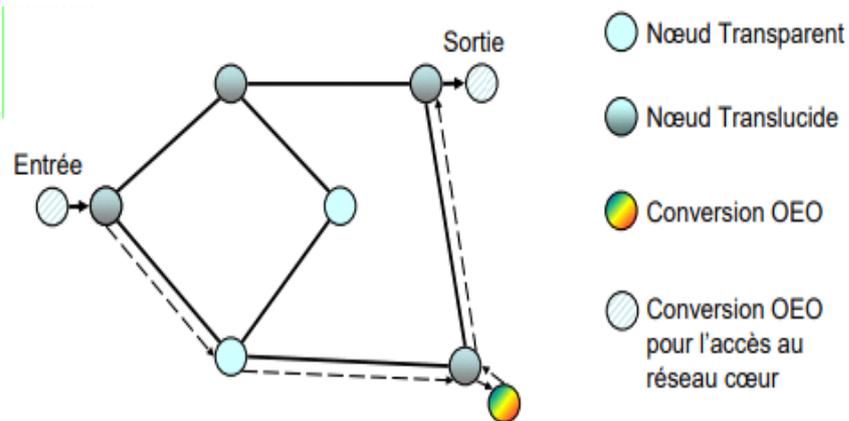


Figure I.13: Représentation d'un réseau transluide

Comme illustré la figure I.13, Le réseau représenté est le même que sur les figures I.11 et I.12, mais avec des nœuds transparents (disque bleu clair) et hybride (disque gris et bleu clair). Le signal transmis passe de manière transparente à travers le premier nœud de croisement. Ensuite, du fait de la présence de dispositifs placés sur le nœud, une conversion OEO a lieu [7].

I.5.2 Techniques de commutation optique

Il existe trois méthodes de commutation optique importantes qui sont censées offrir un potentiel de transition de la commutation électrique à la commutation tout optique. Ces techniques sont la commutation de circuits (OCS), la commutation de paquets (OPS) et la commutation par rafales (OBS). OCS fournit une bande passante à la granularité des longueurs d'onde, tandis qu'OPS peut fournir une granularité encore plus finement détaillée, comparable à celle du paquet utilisé dans le domaine électrique. OBS sert de compromis entre les deux, offrant un compromis entre la granularité d'une longueur d'onde et celle d'une chaîne de paquets plus longue.

I.5.2.1 Commutation optique de circuit (OCS)

La commutation de circuit optique consiste à établir tous les chemins optiques entre le nœud origine et le nœud destination. La configuration du chemin optique implique le développement de fonctions spécifiques telles que l'identification de la topologie, les ressources, le routage, distribution des longueurs d'ondes, la signalisation et la réservation des ressources.

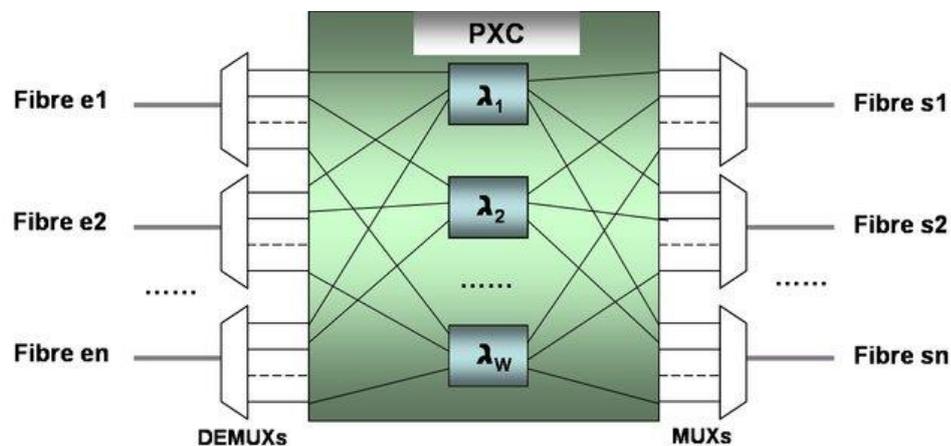


Figure I.14 : Commutateur de circuit

L'identification de la topologie et des ressources fait référence à la gestion des informations sur la structure physique du réseau et l'état de ses connexions. Pour les réseaux WDM, ces informations peuvent également concerner la disponibilité de la longueur d'onde sur une liaison réseau particulière [9].

I.5.2.2 Commutation optique de paquet (OPS)

Les réseaux de commutation de paquets (comme illustré à la Figure I.15) divisent un flux de données en paquets plus petits avant la transmission. Chaque paquet contient des informations de routage dans son en-tête, permettant le multiplexage des paquets pour optimiser l'utilisation de la bande passante et augmenter la flexibilité de la couche WDM. En analysant les informations d'en-tête, un commutateur peut déterminer la destination appropriée pour chaque paquet, permettant une allocation rapide des canaux WDM à une granularité à l'échelle de la microseconde. Grâce à la technologie de commutation de paquets, un commutateur optique par paquets peut prendre en charge des vitesses de transmission plus rapides à moindre coût, ce qui permet de mettre à jour la couche WDM plus fréquemment et de mieux répondre aux demandes de bande passante avec moins d'impacts sur les nœuds de commutation [3].

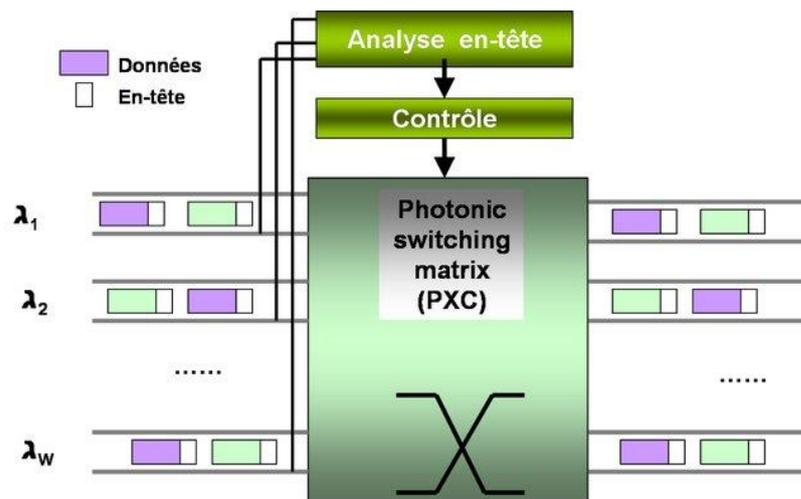


Figure I.15 : Commutateur de paquet

La connexion de plusieurs dispositifs de communication ensemble nécessite l'utilisation de méthodes de commutation telles que la commutation de circuits et la commutation de paquets. La commutation de circuits a été développée à l'origine pour la communication vocale et était moins efficace pour la transmission de données. En tant que telle, la commutation de paquets a été développée comme une solution supérieure pour la transmission de données. La principale distinction entre la commutation de circuits et la commutation de paquets est que la commutation de circuits est orientée connexion, tandis que la commutation de paquets est sans connexion.

I.5.2.2.1 Comparaison

	Commutation de circuit	Commutation de paquet
Connexion	Orientée connexion	Sans connexion
Objectif	Initialement conçu pour la communication vocale.	Initialement conçu pour la transmission de données.
La flexibilité	Inflexible, car une fois qu'un chemin est défini, toutes les parties d'une transmission suivent le même chemin.	Flexible, car une route est créée pour que chaque paquet se rende à la destination.
Ordre	Le message est reçu dans l'ordre, envoyé depuis la source.	Les paquets d'un message sont reçus en désordre et assemblés à la destination.
Couches	La commutation de circuits est implémentée dans la couche physique.	La commutation de paquets est implémentée au niveau de la couche réseau.
Technologie / approche	La commutation de circuit peut être réalisée en utilisant deux technologies, soit la commutation par division spatiale ou la commutation par répartition dans le temps.	La commutation de paquets a deux approches Approche de datagramme et approche de circuit virtuel.

Tableau I.4: Comparaison entre la commutation de circuit et la commutation de paquet

I.5.2.2.2 Différences clés entre la commutation de circuit et la commutation de paquets

- La commutation de circuits est orientée connexion, ce qui signifie qu'un chemin est établi entre la source et la destination avant la transmission. Tandis que, la commutation de paquets est sans connexion, ce qui signifie qu'un itinéraire dynamique est décidé pour chaque paquet pendant la transmission.
- La commutation de circuits était initialement destinée à la communication vocale, tandis que la commutation de paquets a été créée à l'origine pour faciliter la communication de données.
- La commutation de circuit est inflexible car une fois qu'un chemin est établi pour la transmission, il ne change pas pendant la durée de la session. Tandis que, la commutation de paquets est flexible car chaque paquet peut emprunter un itinéraire différent pour atteindre sa destination.

Réseaux de transport optique

- Dans la commutation de paquets, lorsque chaque paquet parcourt un chemin différent, les paquets sont reçus en désordre du côté du récepteur et sont ensuite rangés dans l'ordre. Alors, dans la commutation de circuit, le message entier est reçu tel qu'il est envoyé d'un expéditeur au destinataire.
- La commutation de division spatiale ou la commutation temporelle peuvent être utilisées pour mettre en œuvre la commutation de circuit, tandis que la commutation de paquets peut être mise en œuvre en utilisant deux approches : approche par datagramme et approche par circuit virtuel.
- La couche physique est exclusivement utilisée pour la commutation de circuits, tandis que la commutation de paquets est implémentée sur la couche réseau.

I.5.2.3 Commutation optique de rafale (OBS)

L'OBS s'agit d'une solution compromise pour OCS et OPS qui contient des données moins granulaires qu'OPS et une meilleure granularité des données qu'OCS. Il peut être considéré comme une alternative à l'OPS ; il ne nécessite pas de mise en mémoire tampon de la charge utile optique et a réduit les coûts de traitement et de commutation.

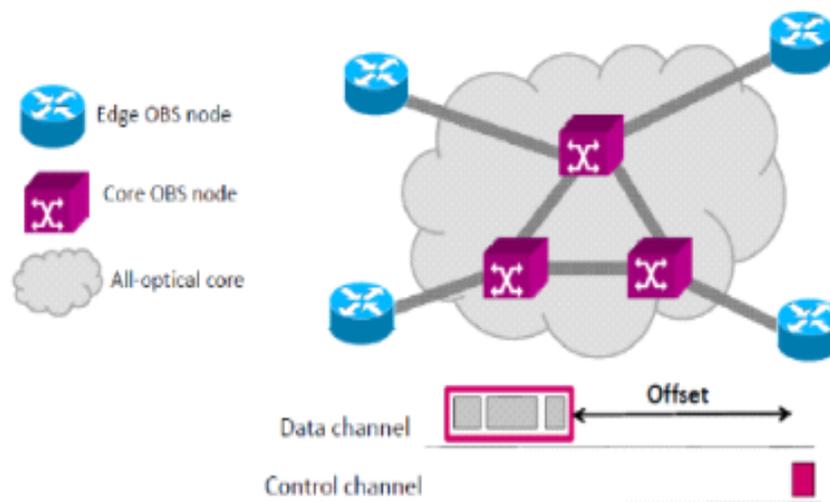


Figure I.16 : Commutation optique de rafale

Lors de la création d'une rafale, les techniques utilisées dans le nœud d'origine du réseau collectent plusieurs paquets pour former un seul entête. De plus, ces méthodes traitent plusieurs

paquets simultanément au lieu d'un par un. Avant d'analyser la vraie raison, cet entête est d'abord traité puis envoyé à l'ensemble du réseau. Un délai appelé temps de latence est mis en place avant que les données ne soient envoyées sur le réseau.

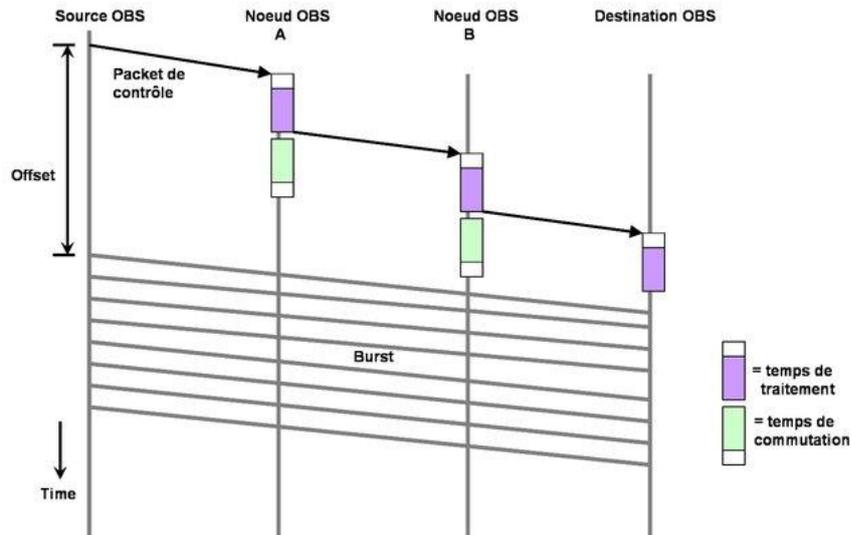


Figure I.17 : Contrôle de rafale dans une architecture OBS

Lors du routage des données via le réseau, tous les commutateurs et nœuds ajustent leurs paramètres pour gérer les données supplémentaires. Cela accélère le processus sans nécessiter de conversion OEO. L'OBS ne nécessite que des vitesses de commutation minimales par rapport à OPS [10].

I.6 Conclusion

Le chapitre donne une explication détaillée des réseaux de transport SDH, décrivant les concepts technologiques clés qui permettent de comprendre leur fonctionnement. Notamment, SONET/SDH est la principale interface haut débit depuis de nombreuses années, offrant à la fois des vitesses de transmission rapides et des interfaces sécurisées.

Le chapitre suivant examinera et élaborera de manière approfondie sur le multiplexage par répartition en longueur d'onde.

Chapitre II : Technologie WDM pour les communications avancées

II.1 Introduction

Avant le développement du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM), il était nécessaire d'installer plusieurs lignes de transmission et des répéteurs-régénérateurs afin d'augmenter la capacité de transmission d'une liaison. Cependant, WDM a complètement transformé cette situation. Avec cette technologie, une seule fibre optique est capable de transmettre plusieurs signaux simultanément. Le besoin de répéteurs-régénérateurs sur un site géographique spécifique a été éliminé par l'amplificateur optique.

II.2 Multiplexages optiques

La division de la bande passante en canaux peut être effectuée en utilisant soit la dimension temporelle, soit la dimension de la longueur d'onde, un peu comme en électronique. Lors de l'utilisation de la dimension longueur d'onde, ce processus est appelé multiplexage par répartition en longueur d'onde, lors de l'utilisation de la dimension temporelle, on parle de multiplexage temporel.

II.2.1 Principe du multiplexage WDM

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à juxtaposer plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur la même fibre optique. Afin de mettre en œuvre cette technique, un système WDM utilise deux terminaux interconnectés par une liaison optique. Le premier terminal est un multiplexeur et le second terminal est un démultiplexeur. La Figure II.1 illustre le modèle d'une liaison WDM entre deux terminaux.

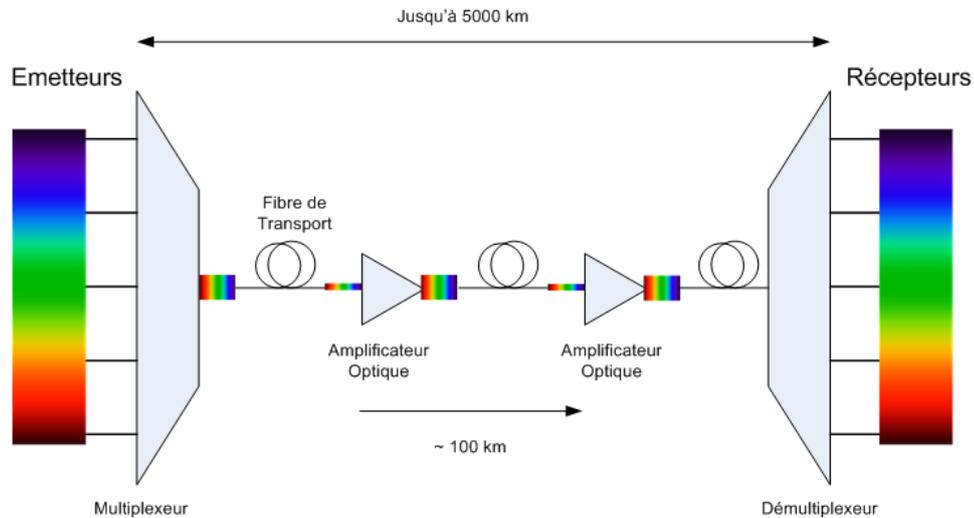


Figure II.1 : Représentation schématisée d'une liaison WDM

Le multiplexeur joue un double rôle essentiel dans le processus de transmission. Tout d'abord, il modifie les longueurs d'onde des signaux entrants à l'aide de transpondeurs. Ensuite, il les multiplexe sur un seul support physique. Dans les cas où les signaux clients ont la même longueur d'onde, les transpondeurs sont chargés de changer les longueurs d'onde pour éviter les interférences. Les transpondeurs sont les interfaces essentielles d'un système WDM qui transmettent et reçoivent des signaux optiques, transformant les signaux clients tels que SDH, PDH et Ethernet en signaux optiques associés à des longueurs d'onde WDM spécifiques. Une fois les signaux optiques définis, ils seront multiplexés dans le signal WDM qui est transporté sur le support physique. Ce signal peut être amplifié et régénéré pour tenir compte d'une éventuelle atténuation sur la liaison optique.

A la réception, le démultiplexeur sert de filtre sur des zones de longueur d'onde spécifiées. Il identifie les longueurs d'onde circulant dans le support optique et localise ensuite tous les signaux initialement multiplexés. Ceci est rendu possible grâce aux transformations de longueur d'onde effectuées par les transpondeurs, qui récupèrent les signaux clients d'origine, tels que les signaux SDH.

Le multiplexage en longueur d'onde est préféré car il ne dépend pas de la vitesse limitée des équipements électroniques. Cependant, il existe une limite au nombre de longueurs d'onde qu'une fibre peut transporter, même s'il a augmenté avec l'introduction de systèmes avancés comme DWDM et UDWDM, qui peuvent gérer jusqu'à 80 et 160 longueurs d'onde, respectivement [11].

- **Mux / Demux à base de prisme**

Les prismes optiques sont conçus pour réfracter, réfléchir ou diffuser la lumière en utilisant le principe de la réfraction. Lorsqu'un faisceau de lumière passe de l'air au verre d'un prisme optique, il se divise en sept couleurs. Bien que le rayon lumineux soit dévié dans les deux sens, l'indice de réfraction n'est pas le même pour toutes les longueurs d'onde.

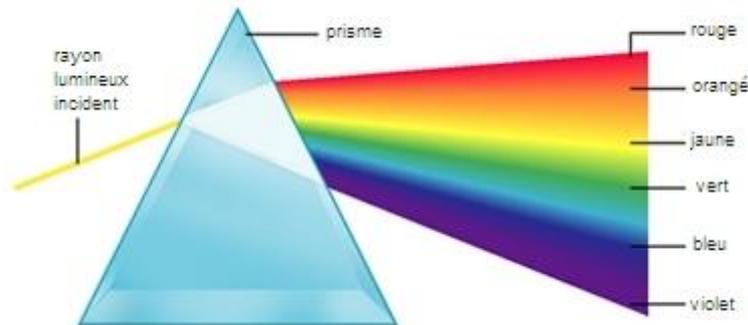


Figure II.2 : Fonctionnement d'un prisme

Il varie suivant les différentes longueurs d'onde après la séparation des composantes de la lumière blanche : la lumière rouge ayant la longueur d'onde la plus longue, suivie de l'orange, du jaune, du vert, du bleu et du violet avec la plus courte.

- **Array Waveguide Gratings (AWG) : Réseaux de guide d'ondes optiques**

AWG représente un dispositif optique de/multiplexage composé de cinq parties principales : un guide d'onde d'entrée, des guides d'onde de sortie, une région de propagation libre 1 (abrégiée ci-après sous l'abréviation FPR-1), une région de propagation libre 2 (FPR-2) et une matrice de guide d'onde dispersive (voir Fig.II.3). Le guide d'onde d'entrée est connecté aux guides d'onde dispersifs via le bloc FPR-1, tandis que les guides d'ondes sont liés aux guides d'ondes de sortie via le FPR-2. La lumière entrante d'une source de lumière diffracte librement en passant par le FPR-1 et pénètre dans le réseau de guides d'ondes. Cette section de matrice est conçue de manière à ce que la différence de longueur de trajet optique entre les guides d'ondes adjacents soit égale à un multiple entier de la longueur d'onde centrale.

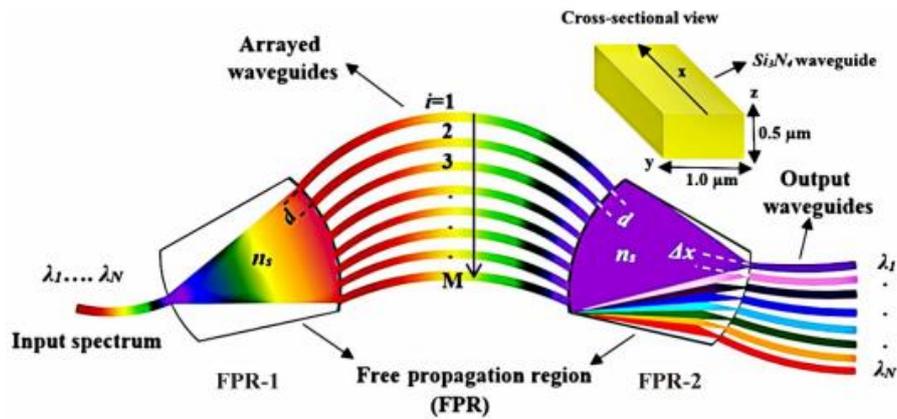


Figure II.3 : Schéma d'un AWG adapté à la plage spectrale visible

Lorsque la lumière diffractée traverse les guides d'ondes en réseau, une différence de longueur de trajet constante entre les guides d'ondes adjacents génère un délai de phase constant. En conséquence, la distribution de champ à l'ouverture d'entrée est reproduite à l'ouverture de sortie dans le FPR-2. Par conséquent, la lumière est focalisée au centre du plan d'image juste à la longueur d'onde centrale. Lorsque la longueur d'onde d'entrée se détache de la longueur d'onde centrale, le point focal est décalé le long du plan de l'image. La séparation des longueurs d'onde peut être effectuée en positionnant correctement les guides d'onde de sortie le long du plan de l'image [12].

II.2.1.1 Multiplexage DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing

Le DWDM est une technologie avancée qui répond au développement du WDM. Ce dernier s'est avéré être une solution efficace pour le problème d'augmentation de la capacité des bandes de transmission d'informations. Le DWDM augmente encore la densité des signaux optiques transmis en acceptant jusqu'à 160 longueurs de signal dans la même fibre.

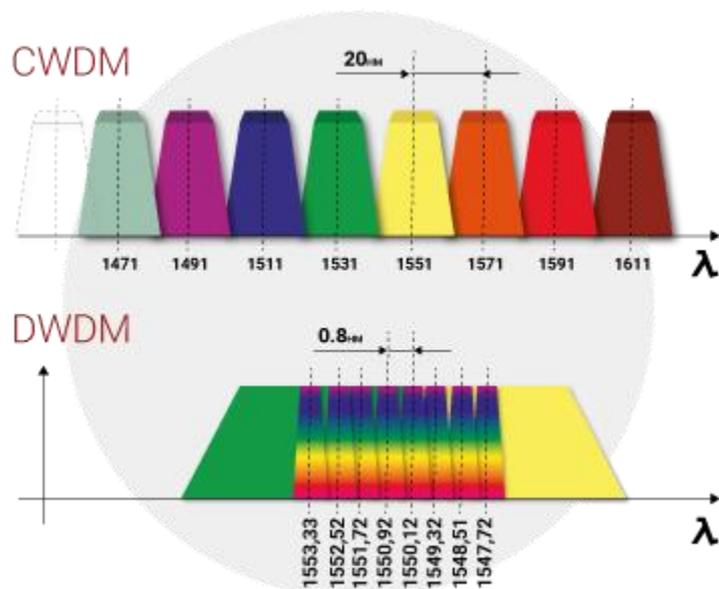


Figure II.4 : Comparaison des espacements entre canaux dans le cas du DWDM et CWDM

On atteint ainsi des débits de données de 300 à 400 Gbit/s, ce qui est très coûteux et est aujourd'hui utilisé pour la transmission longue distance. Cela signifie en fait qu'une seule fibre optique transmet plusieurs signaux très proches les uns des autres.

L'espacement entre les longueurs d'ondes est calculé par la formule suivante :

$$\vartheta = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \Delta\vartheta = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda \rightarrow \Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c} \Delta\vartheta \quad (\text{II.1})$$

Ou :

C : la vitesse de la lumière

$\Delta\lambda$: La différence entre les longueurs d'ondes

$\Delta\vartheta$: L'espacement entre les canaux

II.2.1.1.1 DWDM Avantages Et Inconvénients de DWDM

1. Avantages

- ✓ Excellent pour une utilisation sur de longues distances et dans les régions avec une population dense de clients.
- ✓ Avec une solution active (avec énergie), il est possible d'accéder à jusqu'à 160 canaux.

2. Inconvénients

- ✓ Besoin de plus d'espace
- ✓ Besoin de plus de puissance
- ✓ La solution DWDM peut avoir un coût élevé.

II.2.1.2 Multiplexage CWDM, Coarse Wavelength Division Multiplexing

La technologie CWDM (Coarse WDM) a une large gamme d'applications pratiques, car elle est capable de transmettre jusqu'à seize longueurs d'onde distinctes sur des distances allant jusqu'à 60 à 80 kilomètres. Cependant, l'intégration d'amplificateurs optiques dans C-WDM est difficile, c'est pourquoi il est couramment utilisé pour la transmission longue distance. Une façon de réduire les coûts dans les systèmes de communication optique multicanal consiste à éliminer le contrôle de la température et l'amplification laser. Le spectre laser utilisé dans cette technologie est compris entre 1270 et 1610 nm, avec un espacement des canaux de 20 nm. De plus, si un décalage de longueur d'onde est nécessaire, il peut être réalisé sans aucune perte de signal.

L'avantage des systèmes CWDM réside dans leur capacité à transmettre jusqu'à neuf applications distinctes via une seule paire de fibres optiques. Cette fonctionnalité est particulièrement utile lorsque vous travaillez avec des fibres louées ou lorsque seul un nombre limité de fibres a été installé dans le câble. Chaque canal peut transmettre des données à une vitesse allant de 100 Mbit/s à 2,5 Gbit/s.

II.2.1.2.1 Avantages Et Inconvénients de CDWM

1. Avantages

- ✓ Consommation peu d'énergie
- ✓ Espace réduit est nécessaire.
- ✓ Augmentation de coût minime ou négligeable.

2. Inconvénients

- ✓ Moins de capacité que DWDM
- ✓ N'est pas la plus appropriée pour les réseaux à longue portée.

CWDM VS DWDM	
CWDM	DWDM
Systèmes WDM avec un maximum de 16 longueurs d'onde actives par fibre.	Systèmes WDM avec un maximum de 160 longueurs d'onde actives par fibre.
défini par des longueurs d'onde.	défini par des fréquences et des longueurs d'onde.
Conçu pour les courtes distances.	Conçus pour les transmissions longue distance.
Les longueurs d'onde sont très éloignées les unes des autres.	Les longueurs d'onde sont très proches les unes des autres.
Le signal lumineux n'est pas amplifié.	L'amplification du signal lumineux peut être utilisée.
Equipment compact; rentable.	plus coûteux à exploiter.
Capacité à transporter jusqu'à 16 canaux de 1270 nm à 1610 nm avec un espacement de 20 nm entre les canaux.	possibilité de transporter jusqu'à 80 canaux avec un espacement de 100GHZ et jusqu'à 160 canaux avec un espacement de 50GHZ dans le spectre de la bande C, tous les canaux se trouvant dans la zone des 1550nm.
Le spectre est divisé en sections plus larges.	Le spectre est divisé en sections plus petites.
Utilisation de lasers non refroidis en raison de l'espacement plus important entre les canaux.	des lasers refroidis peuvent être utilisés en raison d'un contrôle plus strict des longueurs d'onde.

Tableau II.1 : Comparaison entre la technique CWDM et DWDM

II.2.1.3 Multiplexage WDM, Wide Wavelength Division Multiplexing

Une variante récemment développée du WDM est le multiplexage WDM, qui utilise un maximum de quatre canaux. Ces canaux sont limités à des longueurs d'onde allant de 1275,7 nm à 1349,2 nm. Pour combiner efficacement les fibres monomodes et multimodes,

des canaux distants de 24,5 nm sont nécessaires, fonctionnant à une longueur d'onde de 1310 nm.

II.2.2 Multiplexage par division dans le temps TDM

Le TDM ou le multiplexage temporel attribue des intervalles de temps spécifiques à un canal de manière périodique, généralement à intervalles fixes. Il est conçu pour les signaux numériques, le message de chaque canal est stocké dans des mémoires tampons sous forme de caractères ou de bits. Ensuite, ils sont transmis séquentiellement sur le canal combiné, où ils sont combinés pour créer des trames multiplexées [13].

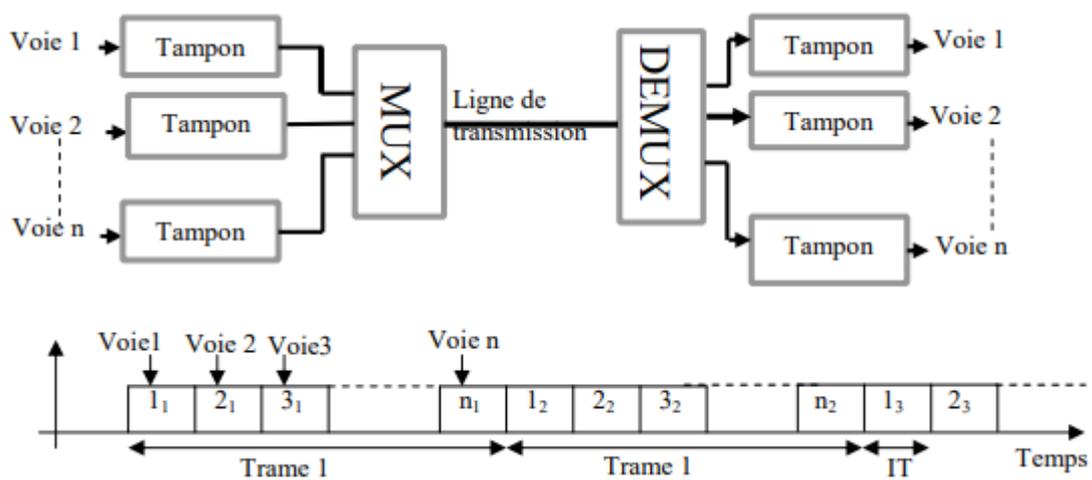


Figure II.5: Principe du multiplexage TDM

Après démultiplexage de chaque canal temporel, celui-ci est acheminé vers sa destination appropriée dès sa réception. Alors que le multiplexage et le démultiplexage électroniques temporels utilisant des circuits intégrés ultra-rapides (avec un énorme 40 Gbits/s en laboratoire) sont possibles, le coût élevé associé à ces circuits pour des débits très élevés le rend peu pratique. Alternativement, une approche de multiplexage temporel purement optique peut être plus viable [14].

II.2.3 Comparaison entre TDM et WDM

Au premier abord, le multiplexage optique TDM et WDM peut sembler avoir des approches similaires. Les deux méthodes facilitent la superposition de nombreux canaux de communication, discernables par leurs décalages temporels et longueurs d'onde respectifs. Cependant, alors que les deux techniques peuvent être analogues en théorie,

TDM possède des limites technologiques distinctes par rapport à la méthodologie WDM plus efficace.

Pour commencer, les canaux TDM manquent de transparence en termes de taux et de type de modulation. La modulation numérique est la seule option et le débit binaire est prédéterminé par le multiplexeur temporel. En revanche, les canaux WDM offrent une modulation individuelle de chaque canal, avec une modulation numérique ou analogique possible en amplitude ou en phase. Le débit binaire de chaque canal WDM peut être adapté selon les besoins, à condition que les spectres du signal ne se chevauchent pas, permettant ainsi une flexibilité accrue.

Le multiplexage optique TDM présente un inconvénient majeur : le débit binaire élevé du signal multiplexé, qui augmente à mesure que le signal couvre des dizaines de gigahertz. Cela peut freiner le traitement électronique lors des opérations de multiplexage et de démultiplexage temporels. En revanche, la méthode WDM accomplit ces fonctions de manière passive et optique. De plus, la dispersion pose un obstacle important à la propagation du signal TDM à mesure que le débit binaire augmente. Des débits de données inférieurs pour chaque canal WDM peuvent contourner ce problème.

Enfin, la méthodologie TDM n'est pas facilement extensible, car l'introduction d'un nouveau canal TDM implique la modification des décalages temporels et la resynchronisation des canaux existants. D'autre part, les canaux WDM sont indépendants, permettant d'ajouter de nouveaux canaux en intégrant simplement un émetteur laser et une fibre optique appropriés, sans provoquer d'interférence avec les autres canaux.

En résumé, la méthodologie WDM apparaît comme le mode de multiplexage optimal pour les transmissions optiques. La transparence, la flexibilité et l'évolutivité de ses canaux en font un choix supérieur [15].

II.2.4 Limitation du nombre de canaux WDM

Les canaux WDM sont accessibles par des dispositifs émetteurs à laser configurés sur des longueurs d'onde particulières. Le multiplexage et le démultiplexage par longueur d'onde sont opérés par des dispositifs optiques passifs de manière similaire à la dispersion et à la recombinaison des couleurs de l'arc-en-ciel par un prisme. Les régions de faible atténuation

situées autour des longueurs d'onde de 1,3 μm et 1,5 μm limitent la bande passante de la fibre optique.

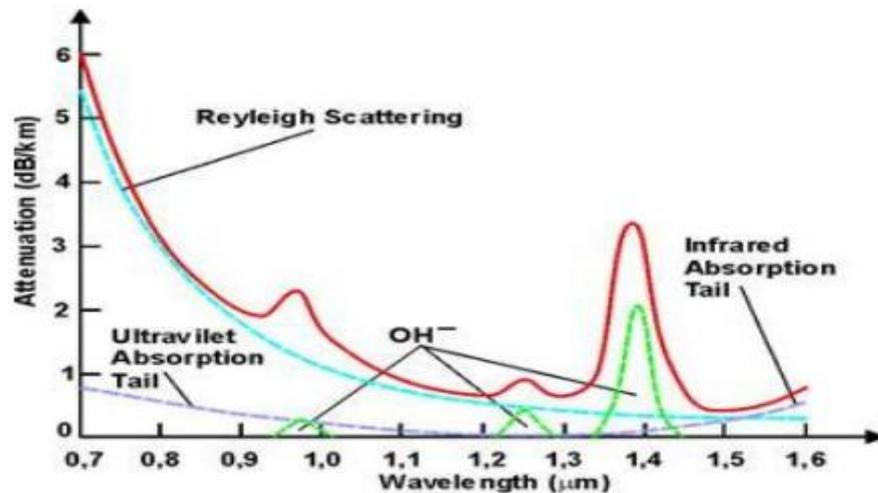


Figure II.6 : Atténuation de la fibre en fonction de la longueur d'onde

Ces zones ont une capacité de transmission d'environ 25 THz chacune. Néanmoins, les réseaux optiques ne pourront pas exploiter l'intégralité de cette largeur de bande en raison des limites des éléments optiques (les amplificateurs optiques fonctionnent dans la plage de fréquences de 35 nm à 40 nm, les émetteurs laser réglables sur 10 nm. Les filtres réglables ne couvrent pas toujours l'ensemble de la plage de fréquences disponibles) et de l'espacement des canaux WDM [15].

II.3 Réseaux tout-optiques

Les réseaux tout optiques offrent des performances inégalées car les informations transmettent de bout en bout à la vitesse des photons. Du point de vue de la bande passante, la fibre optique est désormais capable d'atteindre des débits supérieurs à 1 téraoctet par seconde. La technologie Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) permet de regrouper des centaines de signaux sur une seule fibre.

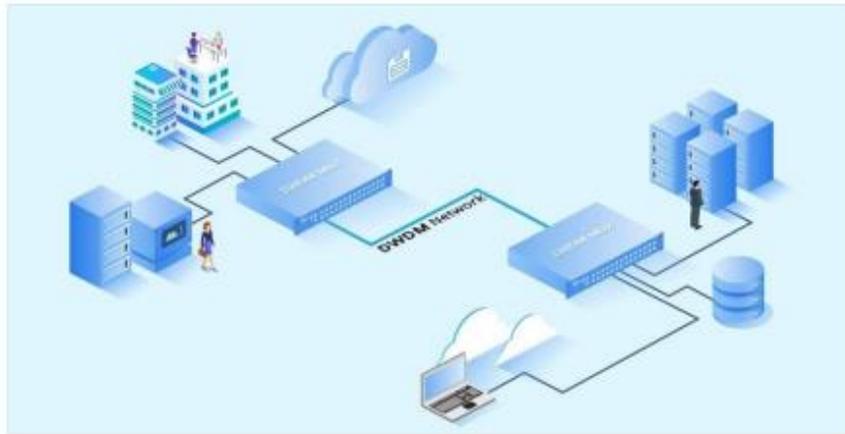


Figure II.7 : Structure d'un réseau tout-optique

II.3.1 Réseaux à fibre optique

La fibre optique, un fil très fin en verre ou en plastique, est un support de transmission de données sur de très longue distance avec un débit allant jusqu'à des Téraoctets/s. En plus de sa capacité de transmission, elle présente également l'avantage d'être insensible aux interférences électromagnétiques. Dans la fibre optique, l'onde se propage différemment au sein du cœur sur deux grandes catégories : monomodes et multimodes, voir la figure II.8.

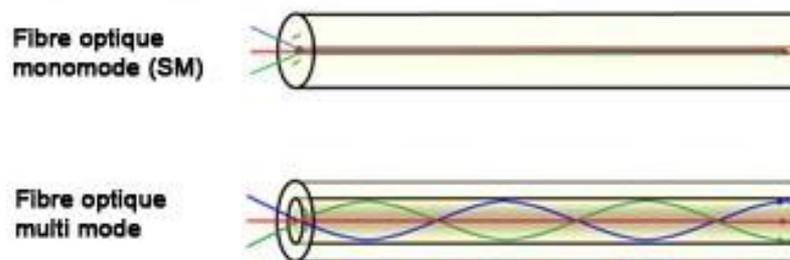


Figure II.8 : Types de la fibre optique

Dans les fibres multimodes, les rayons lumineux peuvent suivre plusieurs chemins optiques avec une certaine dispersion du signal. Dans la fibre monomode il existe un seul mode de propagation, le mode en ligne droite avec une faible atténuation.

II.3.2 Liaison tout-optique

Un système de transmission par fibre optique mis en œuvre (Figure II.9) :

- Une interface optique d'émission permet de convertir le signal électrique en un signal optique en utilisant une diode électroluminescente (LED, Light Emitting Diode) ou d'une diode laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).
- Une interface optique de réception permet de convertir le signal optique en un signal électrique en utilisant une photodiode de type PIN (Positive Intrinsic Négative) ou type PDA (Avalanche Photo Diode).

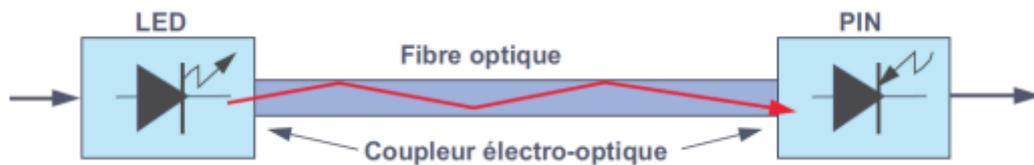


Figure II.9 : Liaison tout-optique

II.4 Commutateurs optique

II.4.1 Répartiteur

Le routeur peut effectuer une fonction de commutation entre ses fibres d'entrée et de sortie à l'aide d'un répartiteur de connexion croisée à fibre optique (F-OXC). Un répartiteur est le commutateur optique le plus basique et le plus économique à produire car il n'effectue aucun démultiplexage sur les signaux entrants ni multiplexage sur les signaux sortants. Par conséquent, le séparateur est insensible aux longueurs d'onde.

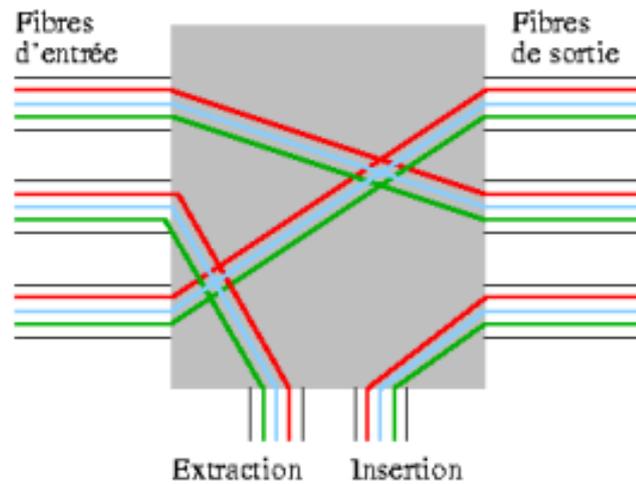


Figure II.10 : Principe d'un répartiteur (F-OXC)

Bien qu'il soit possible d'effectuer des fonctions d'extraction et d'insertion avec le terminal connecté au routeur, ce processus impliquera l'extraction de tous les canaux WDM multiplexés d'une fibre d'entrée ou leur insertion dans une fibre de sortie [16].

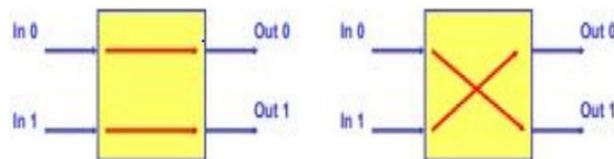


Figure II.11 : Port et états d'un répartiteur (F-OXC)

Le commutateur 2X2 est le modèle le plus élémentaire et le moins coûteux. Il permet le routage des signaux optiques de deux ports d'entrée vers deux ports de sortie. Il se contente d'assurer la fonction de commutation entre les fibres d'entrée et celles de sortie en utilisant ses deux états "cross state" et "bar state", d'où la notation 2X2. Voir figure (II.11) [13].

II.4.2 Multiplexeur insertion/extraction (MIE/OADM)

Un OADM permet de récupérer un ou plusieurs signaux dans un flux de signaux multiplexés circulant à diverses longueurs d'onde et/ou leur insertion sans interférer avec les signaux déjà présents dans le flux. Les OADM associés à la technologie de multiplexage en longueur d'onde WDM offrent la possibilité de combiner vitesse et performance lors de la gestion des flux optiques.

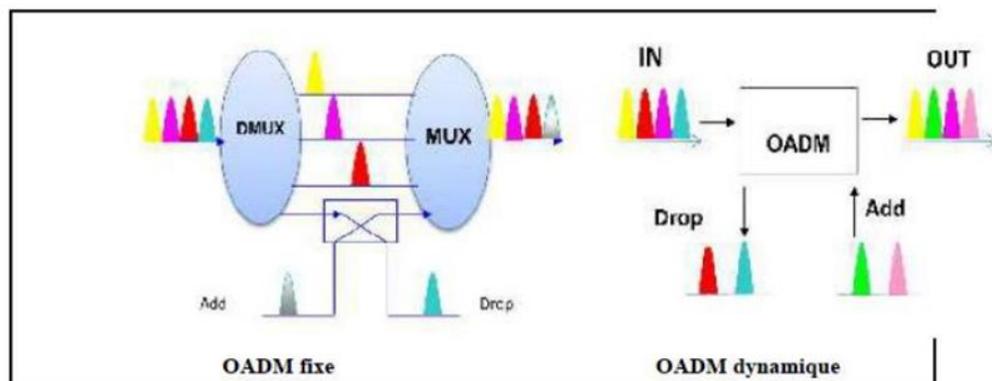


Figure II.12 : Multiplexeur à insertion-extraction

Sans les OADM, il serait nécessaire de placer un nœud à chaque site où l'on souhaiterait extraire ou insérer un signal dans le flux, ce qui engendrerait inévitablement des coûts supplémentaires [14].

II.4.3 Brasseur

Un brasseur (Optical Cross-Connect) est un commutateur sélectif qui permet le routage indépendant de chaque canal WDM vers une fibre de sortie spécifique, quels que soient les multiples canaux présents sur la fibre d'entrée.

Avec la généralisation du multiplexage en longueur d'onde, les nœuds de réseau deviennent naturellement des centres d'aiguillage où les différentes longueurs d'onde transportées sur une fibre sont orientées vers leurs fibres de destination respectives.

Les fonctions de réseau réalisées par l'aiguillage optique peuvent être classées en fonction du niveau d'aiguillage :

- la répartition de fibre (ou de canal) consiste à aiguiller n'importe quel multiplex optique entrant vers un multiplex (ou un canal) de sortie
- le brassage consiste à mélanger dans un multiplex optique des signaux provenant de fibres différentes
- l'insertion/extraction est un cas particulier de brassage consistant à extraire ou insérer, en un point d'une liaison, un ou plusieurs signaux affluents.

Cette fonction est particulièrement appliquée aux réseaux en boucle. Ces trois fonctions de réseau permettent également de sécuriser le réseau optique en basculant le trafic transporté sur une liaison (ou un canal) de secours. Associées aux fonctions du plan de commande, elles permettent de définir la gamme de service. La fréquence et la vitesse de reconfiguration de la machine d'aiguillage sont deux paramètres critiques pour analyser les différentes machines d'aiguillage. En fonction des ordres de grandeur de ces paramètres, on pourra distinguer deux types d'application :

- la commutation lente (correspondant à une vitesse de reconfiguration supérieure à 1 ms)
- la configuration d'aiguillage peut être gérée par un gestionnaire de réseau centralisé par exemple, la commutation rapide (< 10 ns), où le nœud d'aiguillage se configure au rythme des trames ou paquets.

Dans le contexte actuel où la transmission est réalisée par des systèmes de transmission WDM point à point, l'augmentation du nombre de longueurs d'onde par fibre transmises entre les nœuds du réseau de transport optique pose de manière accrue la question de la faisabilité de nœuds de brassage optique de grande capacité. Ainsi, le besoin en brasseurs pourrait s'avérer pressant à moyen terme afin d'exploiter au mieux la capacité importante de transmission permise entre les nœuds. Il apparaît notamment que le nombre de longueurs d'onde que devront traiter les brasseurs optiques sera sensiblement plus grand que le nombre de fibres arrivant et repartant du nœud de réseau considéré. Le brasseur optique idéal devrait avoir les qualités suivantes:

- la possibilité d'évolution en termes de capacité. Le brasseur doit pouvoir être mis à niveau facilement si l'on augmente le nombre de longueurs d'onde de certaines fibres affluentes sur le nœud ou si l'on augmente le nombre de fibres affluentes. Cette facilité de la machine de brassage à prendre en compte les évolutions des systèmes de transmission (upgrade) est fortement liée au choix d'une technologie de cœur de machine compatible avec ces exigences.

- l'interface entre machine de nœud et système de transmission doit être en accord avec les règles d'ingénierie de la couche optique. Les options techniques pour les interfaces du brasseur correspondent à différents niveaux de transparence, se traduisant par des exigences sur les performances du brasseur et des options techniques (pertes raisonnables, régénération du signal...) dont la traduction économique pèse lourd dans la conception de la couche optique d'un réseau cœur.

La possibilité de brasser des entités autres que la longueur d'onde ou d'agréger des flux de débits inférieurs (grooming) est une option structurante pour la définition de la couche optique. Cette fonction, peut être intégrée à la machine de brassage ou disjointe organiquement de l'équipement d'aiguillage des longueurs d'onde. Nous analysons dans les paragraphes suivants les différentes options répondant à ces trois axes d'analyse :

- options techniques pour le cœur de machine
- options relatives à l'interface du brasseur avec les systèmes de transmission
- options relatives au brassage de conduits de débits inférieurs à la longueur d'onde.

L'OXC comprend N ports d'entrée et M ports de sortie. Dans ce cas particulier, N et M sont trois. Pour faciliter le multiplexage et le démultiplexage, N TLO WDM et M TLO WDM sont indispensables. De plus, l'interconnexion optique peut prendre en charge un maximum de longueurs d'onde W , et dans cet exemple, la valeur de W est 2. La polyvalence de l'OXC est encore augmentée par sa capacité à éliminer ou ajouter localement un flux de données.

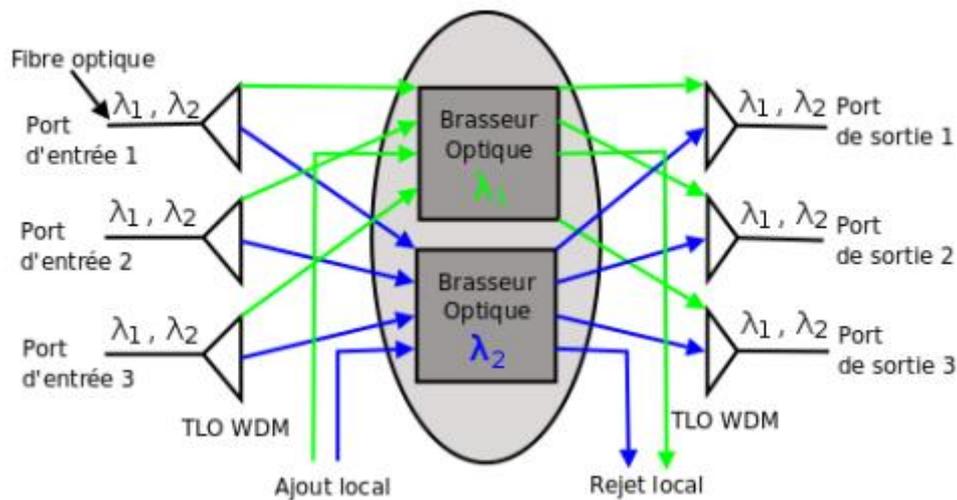


Figure II.13 : Brasseur optique 3x3 avec 2 longueurs d'ondes

Une connexion logique peut être facilement établie via un réseau WDM tout optique en configurant plusieurs interconnexions optiques figure II.13. Ce réseau est indépendant de la nature des données, ce qui signifie que les clients de tout type (IP, ATM, SONET, etc.) peuvent l'utiliser de manière transparente [17].

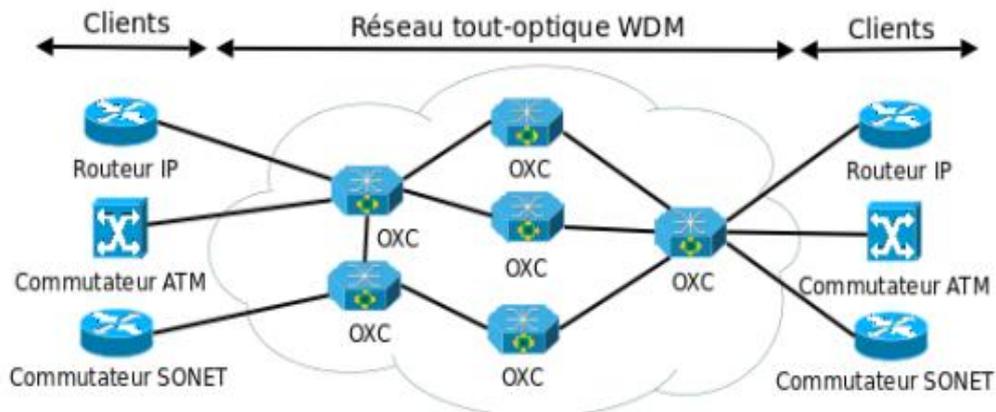


Figure II.14 : Architecture de réseau tout-optique WDM

On peut définir trois types de brasseurs différents selon leur configuration interne :

➤ **Brasseurs passifs fixe (brasseur à fibre)**

Ce type de brasseur comporte des connexions fixe, 1 : N démultiplexeurs, N : 1 multiplexeurs et des inter connecteurs entre les composants.

➤ **Brasseurs dynamiques**

Pour permettre la dispersion de longueurs d'onde distinctes à partir de chaque signal de sortie, les interconnexions dynamiques comportent des démultiplexeurs 1 : N et des matrices de commutation optique pour le routage du signal. Le commutateur optique dans le mélangeur dynamique aide les messages arrivant au port d'entrée à atteindre n'importe quelle sortie souhaitée, tout en garantissant que la longueur d'onde reste inchangée.

➤ **Brasseur actif**

Plusieurs longueurs d'onde peuvent être utilisées par des anneaux optiques. Le contenu de celui-ci comprend des convertisseurs, des commutateurs optiques et des démultiplexeurs 1:N.

II.5 Convertisseurs optiques

Pour transmettre des données dans des systèmes numériques optiques, la conversion d'informations électriques en signaux optiques est essentielle. Ceci est accompli en gravant les données sur le signal lumineux qui doit être transmis à travers la fibre.

II.5.1 Conversion optoélectronique

Pour initier la conversion de longueur d'onde optoélectronique, un signal optique doit d'abord être traduit dans le domaine électrique à l'aide d'une photodiode.

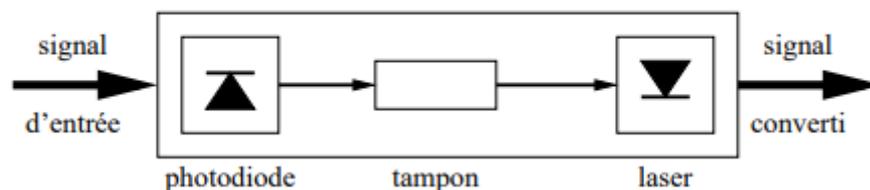


Figure II.15 : Conversion optoélectronique

Le flux électronique résultant est alors réinjecté, avec possibilité de stockage dans une mémoire tampon sur la commande de modulation d'un émetteur laser réglé sur la longueur d'onde désirée [15].

II.5.2 Conversion tout-optique

Pour une conversion tout-optique nous citons les propriétés des deux principales techniques qui sont :

- Les méthodes efficaces de conversion d'effets cohérents qui ont la capacité de fonctionner avec tous les formats de modulation, assurant une transparence complète du signal. Notamment, c'est la seule approche capable de convertir simultanément une série de longueurs d'onde en une autre tout en supportant des débits supérieurs à 100 Gps.
- L'utilisation de composants optiques semi-conducteurs actifs, à savoir des amplificateurs ou des émetteurs laser, est au cœur des techniques de conversion en intermodulation. Ces techniques permettent des vitesses allant jusqu'à 10 Gb/s. Un avantage notable de cette approche est sa convivialité [14].

II.5.3 Brasseur convertisseur

Un brasseur convertisseur (Wavelength Translating Optical Cross Connect WT-OXC) est un dispositif de commutation sélectif en longueur d'onde qui permet également ces conversions. Par conséquent, le brassage des canaux WDM ne sont pas toujours à des longueurs d'onde constantes, comme les brasseurs simples.

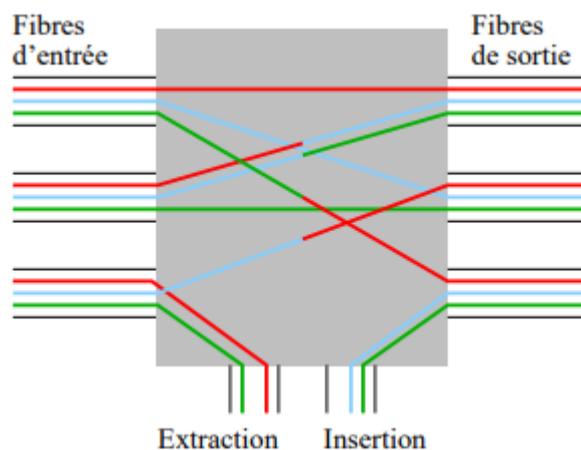


Figure II.16 : Brasseur convertisseur avec MIE

Ces nœuds de commutation sont donc plus flexibles, mais beaucoup plus complexes dans leur structure. Ce brasseur peut effectuer la conversion des canaux WDM associés aux multiplexeurs d'insertion/extraction [15].

II.6 Conclusion

Ce chapitre particulier couvre l'importance du multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) par rapport aux autres techniques de multiplexage, décrivant son principe de fonctionnement et ses types.

L'émergence de la technologie WDM a permis d'optimiser l'utilisation de la fibre optique en permettant une transmission de données à haut débit grâce au multiplexage de plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre.

**Chapitre III : Technique de multiplexage
optique à insertion-extraction**

III.1 Introduction

Les réseaux de télécommunications optiques se développent rapidement en raison de la croissance explosive de la quantité d'informations transmises. Avec l'augmentation de la demande de bande passante, l'infrastructure de fibre optique est sollicitée à sa capacité maximale. Pour résoudre ce problème, les multiplexeurs optiques à insertion-extraction (OADM) ont été introduits comme solution pour la gestion des longueurs d'onde dans les réseaux métropolitains et d'accès.

Les multiplexeurs OADM sont utilisés dans les systèmes conventionnels de transmission à longue distance, l'accent a été mis sur la capacité du système et la distance de transmission. Dans les réseaux métropolitains et d'accès, en revanche, le faible coût et la flexibilité du système sont indispensables. L'OADM à une entreprise au milieu de ses choix. Bien entendu, le principal champ d'application est le MAN (réseau métropolitain). Il peut s'agir d'un travail flexible, facile à mettre à niveau et à amplifier le réseau. En tant que plateforme de transport multiservice idéale dans l'application MAN, l'OADM permet à différents réseaux optiques de différentes longueurs d'onde de multiplexer des signaux à différents endroits.

III.2 Types de routages optiques

Lorsqu'il s'agit de résoudre le sous-problème de routage dans les réseaux optiques, il existe quatre principales catégories d'approches à considérer. Ceux-ci incluent le routage fixe, le routage alternatif fixe, le routage adaptatif et le routage le moins encombré. L'objectif principal de ces algorithmes de routage est de déterminer les chemins de bout en bout optimaux pour les paires source-destination [18].

III.2.1 Routage fixe

Le routage fixe (FR) fonctionne en précalculant une seule route dédiée (un seul itinéraire) de bout en bout pour chaque paire source-destination à l'aide d'un algorithme comme celui de Dijkstra. Lors de la réception d'une demande de connexion, l'algorithme s'efforce d'établir une route légère le long du chemin prédéterminé, en vérifiant la disponibilité de la longueur d'onde requise sur chaque lien. Si aucune longueur d'onde n'est disponible, la demande de connexion est rejetée. Dans les cas où plusieurs longueurs d'onde

sont disponibles, un mécanisme de sélection de longueur d'onde est utilisé pour déterminer l'option optimale.

III.2.2 Routage alternatif fixe

L'algorithme de routage alternatif fixe (FAR) est une version mise à jour de l'ancien algorithme FR. Avec FAR, chaque nœud du réseau maintient une table de routage contenant une liste de routes fixes de bout en bout pour tous les autres nœuds. Ces itinéraires sont pré-calculés et stockés hors ligne. Une fois qu'une demande de connexion arrive avec une paire source-destination spécifique, le nœud source commence à rechercher une route optique en essayant chaque route dans la table de routage, une à la fois, jusqu'à ce qu'une route de bout en bout disponible avec la bonne longueur d'onde trouvée. Si aucune des routes alternatives de la liste n'a de longueur d'onde requise, la demande de connexion est bloquée. Dans les situations où plusieurs longueurs d'onde sont disponibles sur la route de bout en bout sélectionnée, un mécanisme d'attribution de longueur d'onde est utilisé pour choisir la meilleure option.

Bien que l'algorithme FAR présente une complexité de calcul plus élevée que l'algorithme FR, il bloque moins d'appels. Néanmoins, l'algorithme FAR peut échouer à découvrir toutes les routes potentielles entre une paire source-destination, ce qui compromet sa capacité de blocage d'appels. Par conséquent, les performances de l'algorithme FAR pour empêcher le blocage des appels sont sous-optimales.

III.2.3 Routage moins d'encombrement

Le routage le moins encombré (LCR) prédétermine une séquence d'itinéraires de bout en bout pour chaque paire source-destination, comme dans le cas du FAR. En fonction de l'heure d'arrivée des demandes de connexion, les itinéraires les moins encombrés sont sélectionnés parmi les itinéraires prédéterminés. L'encombrement d'une liaison est mesuré par le nombre de longueurs d'onde disponibles sur la liaison. Si une liaison à moins de longueurs d'onde disponibles, elle est considérée comme plus encombrée. L'inconvénient du LCR est qu'il est plus complexe à calculer et que le blocage des appels est presque identique à celui du FAR.

III.2.4 Routage adaptatif

Le routage adaptatif (AR) sélectionne dynamiquement les routes de bout en bout en fonction des informations en temps réel sur l'état des liens du réseau dérivées de toutes les connexions actives. La forme la plus optimale d'AR est le routage adaptatif par le plus court chemin, qui s'avère très efficace dans les réseaux optiques à longueur d'onde. Dans cette approche, chaque liaison réseau inutilisée a un coût de 1 unité tandis qu'une liaison active se voit attribuer un coût de ' α '.

Lors de la connexion, la route la plus directe entre la source et la destination est établie. Si plusieurs itinéraires ont la même distance, un est sélectionné au hasard. Alors que le routage adaptatif à moindre coût réduit les blocages de connexion en examinant de manière approfondie toutes les routes possibles, les temps de configuration ont tendance à être plus longs par rapport aux autres algorithmes de routage. Dans le cas où une longueur d'onde manque entre la source et la destination, une connexion est considérée comme obstruée.

Pour s'assurer que les tables de routage au niveau des nœuds sont constamment à jour, la RA s'appuie fortement sur des protocoles de contrôle et de gestion robustes. Alors que la mise en œuvre centralisée est favorable à la RA, l'acceptation dans un environnement distribué est moins répandue. Pour démontrer la fonctionnalité des algorithmes de routage mentionnés précédemment, un exemple de réseau est fourni (voir Figure III.1).

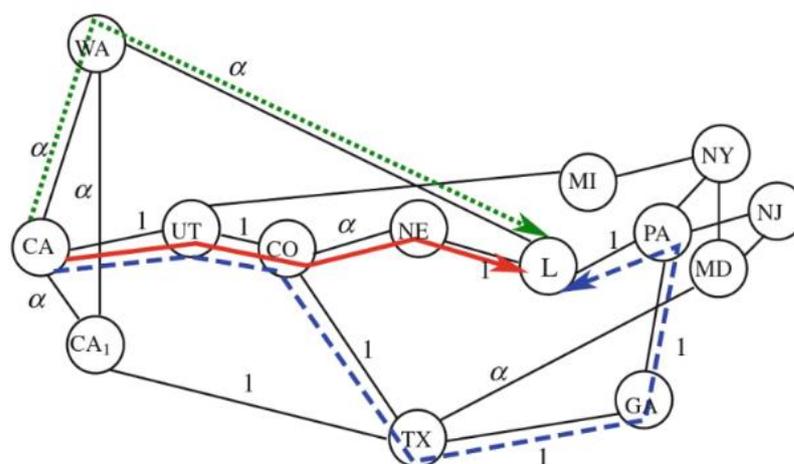


Figure III.1 : Les itinéraires fixes/ primaires (ligne rouge continue), alternatif (ligne verte en pointillés) et adaptatifs (ligne bleu en pointillés) sont représentés entre la ville source CA et la ville de destination L

Ce réseau comprend 14 nœuds (représentant des villes) et 21 liaisons optiques bidirectionnelles. Les lignes rouges pleines indiquent l'itinéraire fixe le plus court ou l'itinéraire principal, les lignes vertes en pointillés représentent l'itinéraire alternatif et les lignes bleues en pointillés représentent l'itinéraire adaptatif de la ville source CA à la ville de destination L. Les liaisons congestionnées sont marquées d'un " α ". Si une demande de connexion pour un voyage entre la ville source CA et la ville de destination L est reçue, seule la route adaptative (AR) peut être en mesure d'établir une connexion de bout en bout entre les deux villes.

III.3 Multiplexeur OADM vs ROADM

III.3.1 Multiplexeur à insertion-extraction OADM

Un OADM « Optical Add-Drop Multiplexer » est un composant essentiel des systèmes WDM pour le multiplexage et le routage de différentes longueurs d'onde dans ou hors d'une fibre. Il peut soit ajouter soit supprimer un ou plusieurs nouveaux canaux de longueur d'onde à un signal multi-longueurs [18].

Un OADM se compose de trois parties :

- Un démultiplexeur optique,
- Un multiplexeur optique,
- Une méthode de reconfiguration entre eux.

Le multiplexeur optique est un ensemble de ports permet l'ajout et la suppression des signaux. Il facilite le couplage de plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre. La reconfiguration peut être effectuée via des panneaux de brassage fibre ou l'utilisation de commutateurs optiques qui dirigent les longueurs d'onde vers le multiplexeur optique ou les ports de dérivation.

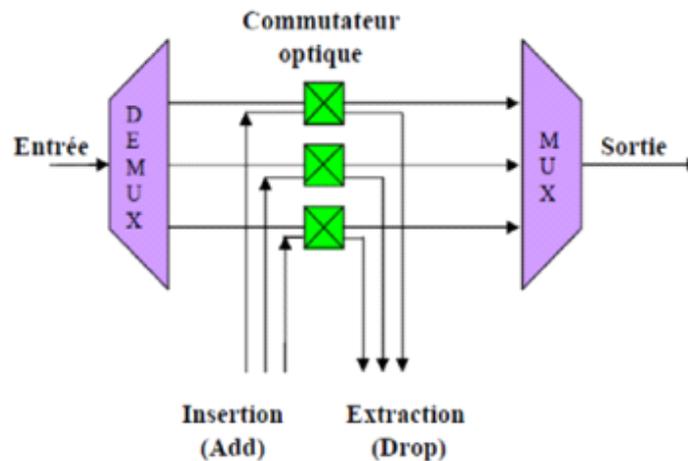


Figure III.2 : Structure d'un OADM

Le démultiplexeur, d'autre part, sert à annuler le travail du multiplexeur en séparant plusieurs longueurs d'onde d'une fibre et en les dirigeant vers des fibres individuelles [19].

Les chemins de lumière qui sont supprimés ou ajoutés à l'OADM sont appelés chemins de lumière d'extraire/ajoutés, tandis que tous les chemins de lumière qui passent directement un OADM sont appelés chemins de lumière coupés. Diverses solutions matérielles nous permettent de construire un OADM de plusieurs façons. Nous avons un large éventail de technologies de multiplexeur et démultiplexeur disponibles comprenant : réseaux de Bragg de fibre avec les circulateurs optiques, filtres à couche mince, réseaux de guide d'ondes rangés, dispositifs discordants d'espacement d'espace libre [20].

III.3.1.1 Principe de fonctionnement d'un OADM

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) permet d'acheminer des canaux optiques de longueurs d'onde variables sur une même fibre optique. Un multiplexeur d'insertion-extraction OADM est utilisé pour extraire des longueurs d'onde sélectionnées sans sectionner toute la fibre. De plus, deux dispositifs OADM synchronisés, fonctionnant sur les trajets optiques corrects, peuvent être installés aux deux extrémités de la fibre pour assurer une route automatique et sécurisée. Reportez-vous à la figure (III.3) pour une représentation de la fonctionnalité de récupération de longueur d'onde sélective de l'OADM [21].

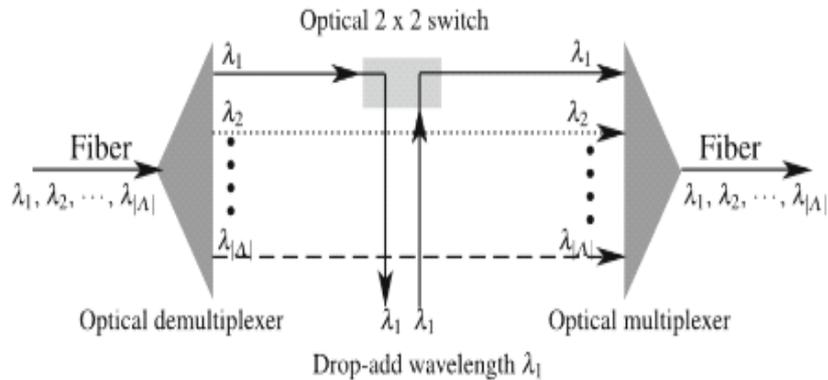


Figure III.3 : Principe d'un OADM

III.3.1.2 Circulateur optique

La transmission de la lumière entre deux fibres optiques est la fonction première d'un circulateur optique. Ce dispositif est de nature non réciproque, ce qui signifie qu'il achemine la lumière en fonction uniquement de sa direction de propagation. Les circulateurs optiques et les isolateurs optiques ont diverses applications pratiques. Pour favoriser la propagation de la lumière, on peut utiliser un isolateur optique ou un circulateur optique. Alors que le premier implique moins de perte d'énergie lumineuse, le second est moins efficace à cet égard. Un circulateur optique a généralement trois ports : deux pour l'entrée et un pour la sortie. Il fonctionne en transmettant des signaux du premier port au second, puis du second au troisième.

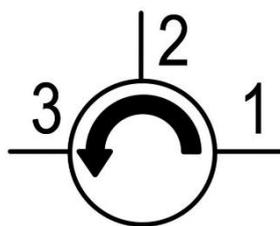


Figure III.4 : Circulateur optique

De plus, il peut transmettre un troisième signal du troisième port au premier. Dans certains cas, le troisième port est inutile, permettant un circulateur optique à deux ports qui peut bloquer efficacement toute lumière entrante [22].

III.3.1.3 Réseaux de Bragg

Le réseau de Bragg à fibre (FBG) est un réflecteur de Bragg optique dispersé à travers la fibre. Il est structuré en une section de fibre optique concise qui reflète des longueurs d'onde lumineuses spécifiques tout en permettant la transmission des autres. Le cœur de la fibre est modifié avec une variation d'indice de réfraction périodique ou apériodique, résultant en un miroir diélectrique sur mesure [23].

Pour le dire simplement, un réseau de Bragg à fibre est un petit morceau de fibre optique. Sa longueur ne dépasse généralement pas 3 centimètres, bien que certains types puissent dépasser 14 centimètres. L'indice de réfraction du réseau est modulé périodiquement, comme illustré sur la figure III.5, par exposition latérale au motif d'interférence d'un faisceau laser ultraviolet.

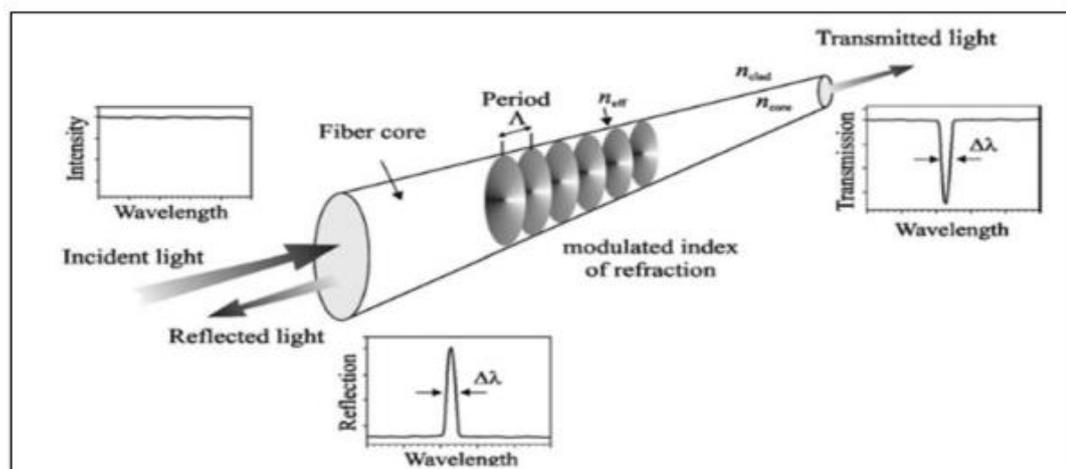


Figure III.5 : Représentation schématique d'un réseau de Bragg inscrit au cœur d'une fibre optique

Quand 'il s'agit de cette opération particulière, il est important de considérer le type de laser utilisé. Le laser à excimer au fluorure d'argon (ArF*), qui émet à 193 nm, est le plus adapté à la tâche à accomplir. Il convient de noter que ce laser modifie la phase ou l'intensité de la lumière réfléchie et transmise à intervalles réguliers [24].

La longueur d'onde Bragg est donnée par :

$$\lambda_{Bragg} = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \quad (III.1)$$

Avec

n_{eff} : Indice de réfraction effectif

Λ : La période de réseau

La figure III.6 montre la composition de la structure du réseau de Bragg à fibre, ainsi que les profils spectraux pour l'entrée, la réflexion et la transmission.

La filtration optique en ligne pour un rejet de longueur d'onde ciblé ou une réflexion puissante de longueurs d'onde spécifiques peut être rendue possible en utilisant une fibre à réseau de Bragg.

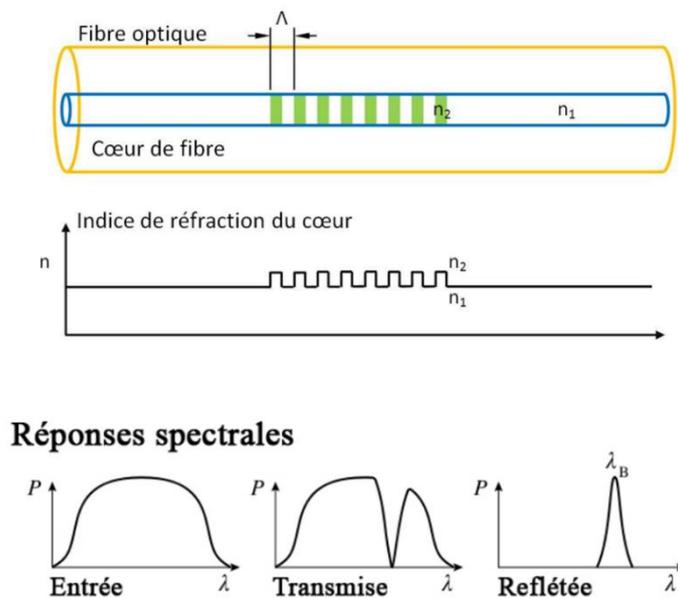


Figure III.6 : Structure d'une fibre à réseau de Bragg uniforme, avec le profil d'indice de réfraction et les réponses spectrales

Lorsque la lumière à large bande est introduite dans le cœur de la fibre, l'indice de réfraction subit une période de variation. Dans la condition de Bragg, une partie de la lumière d'entrée est réfléchiée tandis que le reste est transmis. La bande passante de la lumière réfléchiée détermine l'étendue de ce phénomène. La transmission dépend de quelques facteurs tels que les attributs du réseau de Bragg, sa longueur et la profondeur de modulation [24].

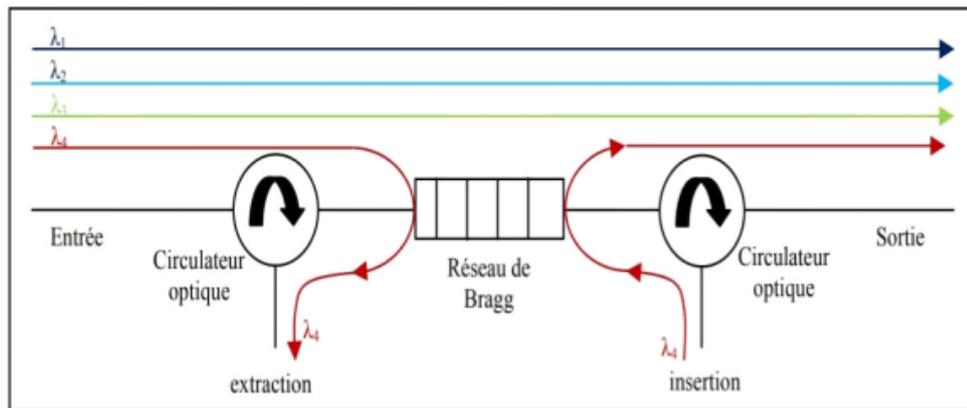


Figure III.7 : Schéma d'un OADM à base de réseau de Bragg et des circulateurs optiques

III.3.2 Application de l'OADM

Les systèmes de transmission à longue distance conventionnels donnent la priorité à la capacité du système et à la distance de transmission, tandis que les réseaux métropolitains/d'accès nécessitent une rentabilité et une flexibilité du système. OADM occupe une position idéale à cet égard. C'est un outil précieux dans l'espace MAN (réseau métropolitain), offrant flexibilité et évolutivité aux administrateurs réseau. En tant que plate-forme de transport multiservice, OADM s'adapte aux réseaux optiques en multiplexant des signaux de longueurs d'onde variables à différents endroits.

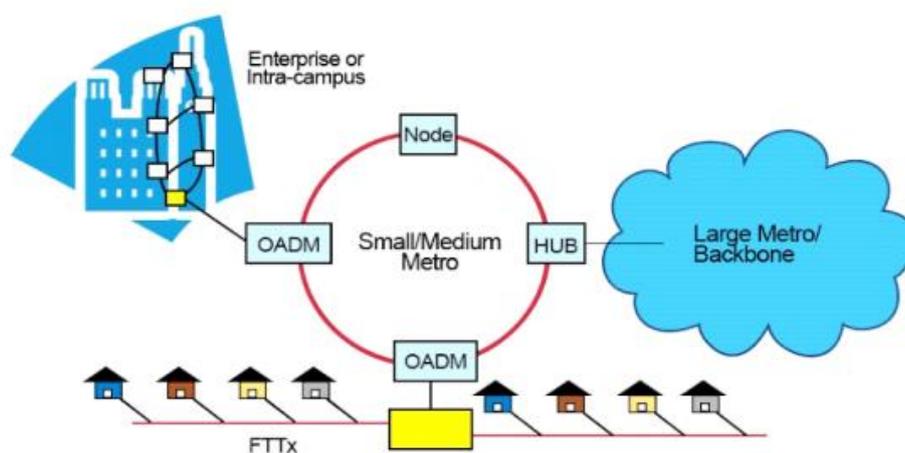


Figure III.8 : Application de l'OADM

De plus, l'OADM constitue une solution idéale pour l'interconnexion optique dans diverses applications. L'équipement spécialisé permet une connectivité réseau polyvalente. Cela comprend la fourniture de ressources de longueur d'onde à la demande et l'élargissement de la gamme d'options d'interconnexion réseau disponibles [25].

III.3.3 Types d'OADM

Les multiplexeurs optiques Add-Drop OADM peuvent être classés en deux types principaux :

- OADM à longueur d'onde fixe (FOADM).
- OADM à longueur d'onde reconfigurable (ROADM).

Dans les OADM à longueur d'onde fixe, la longueur d'onde est choisie et reste inchangée à moins qu'elle ne soit modifiée manuellement. D'autre part, les OADM à longueur d'onde reconfigurable permettent le réacheminement dynamique des longueurs d'onde entre le démultiplexeur et le multiplexeur optique, donnant la flexibilité de diriger les sorties vers l'une des entrées du multiplexeur [25].

III.3.4 Multiplexage à Insertion/Extraction optique reconfigurable (ROADM)

La prévision des modèles de trafic dans les réseaux est une tâche difficile. Une augmentation des communications et de la transmission de données dans une partie du réseau pourrait déclencher un goulot d'étranglement et perturber plusieurs services et connexions en cours. Les dispositifs tels que les OADMs, qui utilisent des filtres fixes, sont inadéquats pour gérer de telles situations. Les opérateurs doivent les reconfigurer à plusieurs reprises pour s'adapter aux changements de volume de trafic. Pour résoudre ces problèmes, l'industrie a développé des OADM ou ROADM configurables qui offrent des liaisons plus flexibles pour une gestion rapide et efficace du trafic.

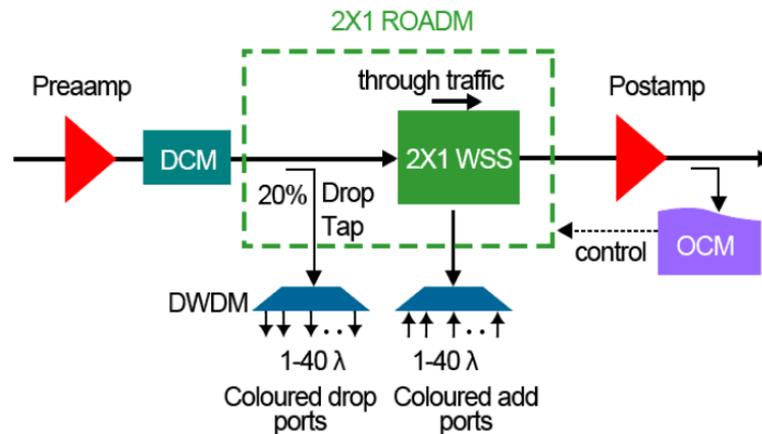


Figure III.9 : Schéma d'un ROADM 2X1

Un système de gestion centralisé au sein d'un ROADM permet d'ajouter ou de supprimer des longueurs d'onde spécifiques, éliminant ainsi le besoin de commutation sur site ou de déplacements sur le terrain ; cette fonctionnalité est également conçue pour s'adapter à un débit futuriste ou à des mises à niveau de protocole.

Naturellement, tout le processus de commutation est réalisé de manière optique, ce qui évite les dépenses et les contraintes liées à la réalisation des conversions optique-électrique (OEO).

Les ROADM, ou multiplexeurs optiques reconfigurables, sont l'épine dorsale des réseaux optiques. Ces appareils offrent la possibilité de réacheminer les flux optiques et de contourner les connexions interrompues, réduisant ainsi les interruptions de service au minimum.

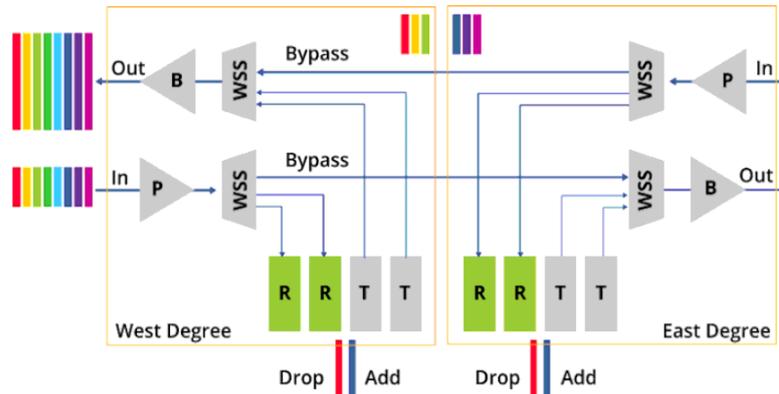


Figure III.10 : Structure d'un ROADM

En outre, ils fournissent au réseau optique l'adaptabilité et l'évolutivité nécessaires pour s'adapter à différentes technologies, de la même manière que le WDM peut améliorer la configuration électronique de l'OADM pour obtenir la fonctionnalité souhaitée.

Les ROADMs ont connu une évolution significative à travers trois générations distinctes. Le marché ROADM actuel se vent de quatre caractéristiques innovantes sans direction, sans contenu, spectre sans couleur et flexibilité. Cependant, seul le temps révélera toute l'étendue des avantages que l'industrie tirera de cette nouvelle technologie [20].

III.3.4.1 Avantages de ROADM par rapport à OADM fixe

Le ROADM permet la configuration et la reconfiguration à distance, il offre de nombreux avantages par rapport à l'OADM fixe, qui peut également être appelé FOADM. Le principal avantage de la technologie ROADM est d'améliorer l'efficacité d'un système WDM avec la granularité d'une seule longueur d'onde. ROADM présente plusieurs avantages par rapport à FOADM [26] :

- **Simplifier la conception du réseau de transport**

Contrairement au FOADM, les systèmes ROADM renoncent au besoin de conversions optique-électrique et électrique-optique lors de la commutation du signal. De plus, la planification de l'allocation de la bande passante n'est pas une partie obligatoire du déploiement initial du système. Avec son infrastructure en anneau, il permet une flexibilité totale pour fournir n'importe quelle longueur d'onde à n'importe quel nœud.

- **Répondez rapidement aux nouvelles demandes de bande passante**

Bien que FOADM offre une solution au problème de capacité, il manque de flexibilité pour répondre aux besoins soudains en bande passante. D'autre part, les réseaux basés sur la technologie ROADM sont mieux adaptés aux scénarios où la demande est sporadique, croissante ou doit être déplacée fréquemment.

- **Etendre le transport de longueur d'onde**

La couche optique automatisée avec connectivité multipoint dynamique et ajout et suppression de longueur d'onde indépendants, ainsi que l'allocation de bande passante à distance, ont été rendues possibles par les réseaux basés sur ROADM. Ces progrès ont permis d'améliorer les capacités de gestion de l'alimentation.

- **Reconfiguration à distance**

La technologie ROADM permet le réglage à distance des longueurs d'onde d'ajout/suppression à un nœud, éliminant ainsi la nécessité pour un technicien d'installer des lasers/filtres d'ajout/suppression avec des longueurs d'onde prédéterminées dans le nœud du système WDM. De plus, il équilibre les niveaux de puissance des longueurs d'onde pour assurer leur transmission fluide sur la même fibre.

- **Meilleure évolutivité du réseau de service**

L'automatisation de la couche optique via ROADM élimine la possibilité d'une prestation de service défectueuse et équilibre la perte de signal sur toutes les longueurs d'onde. Cette mesure efficace réduit l'exigence d'un équipement d'amplification de signal à prix élevé et diminue finalement les dépenses de réseau.

III.4 Conclusion

En comparant OADM et ROADM, il devient évident que OADM joue un rôle essentiel dans les réseaux WDM. Il permet aux opérateurs d'établir une couche de transport optique adaptable, flexible et facile à administrer. Alors que la génération ROADM offre encore plus d'avantages aux utilisateurs et devrait devenir omniprésent dans les réseaux WDM du monde entier.

Chapitre IV : Simulation et Interprétations des résultats

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la simulation d'un routeur optique statique OADM, dont nous avons déjà parlé au chapitre trois. Pour ce faire, on utilise logiciel Optisystem qui offre la possibilité de tester et d'optimiser presque toutes les connexions optiques grâce à une modélisation réaliste des systèmes de communication par fibre optique. Nous commençons par présenter les différentes applications de ce logiciel, ainsi que son interface, son éditeur de layout et ses bibliothèques. Ensuite, nous analysons les résultats de la simulation

IV.2 Présentation du logiciel Optisystem

"Optical communication System Design Software", est une application logicielle a été créé par Optiwave, une entreprise technologique canadienne. Le logicielle permet à l'utilisateur de concevoir, tester et optimiser facilement n'importe quelle liaison optique.

La gamme de systèmes optiques peut varier considérablement, des dispositifs rudimentaires aux systèmes de communication complets qui sont représentés dans un schéma fonctionnel. Il s'agit d'une interface interactive, mêlant outils numériques et fonctionnalités graphiques pour offrir une expérience conviviale [27].

IV.2.1 Principales caractéristiques du logiciel Optisystem

1. L'interface OptiSystem contient une fenêtre principale réparti en plusieurs parties : [28]

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- Editeur du layout : permet d'ajuster et de configurer la mise en page actuelle via l'édition et la configuration conception.
- Navigateur du projet : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

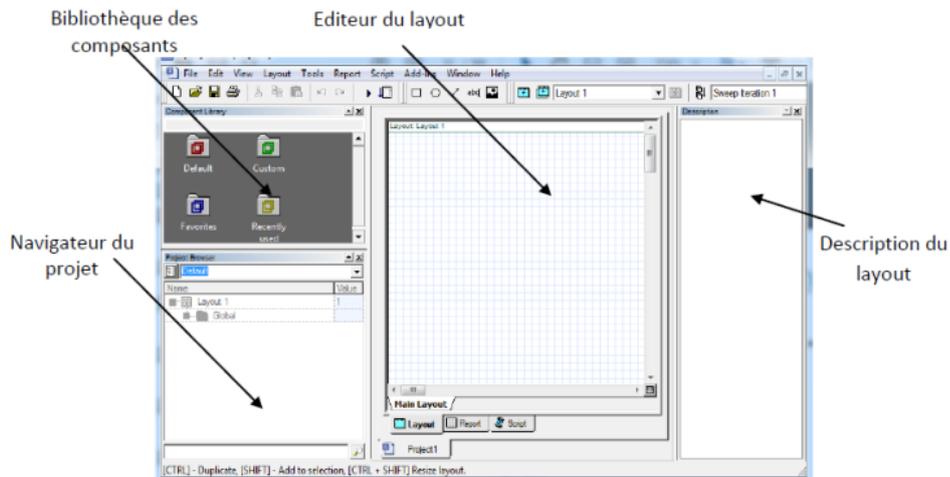


Figure IV.1 : L'interface de l'OPTISYSTEM

2. Le logiciel se distingue par ses principales caractéristiques, qui comprennent :

- les composants virtuels de la bibliothèque aux paramètres de leurs homologues réels, il est possible de reproduire leur comportement exact et leur effet spécifique.
- La bibliothèque de composants offre la possibilité d'entrer des paramètres pouvant être mesurés à partir d'appareils réels.
- Divers types de représentation visuelle peuvent être créés grâce à l'utilisation d'outils de visualisation. Ces visuels peuvent inclure un bip sonore, un diagramme de l'œil et la représentation du taux d'erreur binaire, entre autres.

IV.2.2 Application d'Optisystem

Les applications d'Optisystem les plus couramment utilisées sont : [27]

- La conception du système de communication optique.
- La conception des réseaux TDM/WDM et les réseaux optiques passifs (PON).
- La conception des Systèmes optiques en espace libre (FSO).
- La conception de la carte de dispersion.
- La conception d'émetteur, du canal, de l'amplificateur et du récepteur.

- BER système amplifié et calculs du budget de liaison.

IV.3 Simulations

IV.3.1 Bloc 1

Dans cette partie nous allons faire la simulation d'un routeur optique OADM.

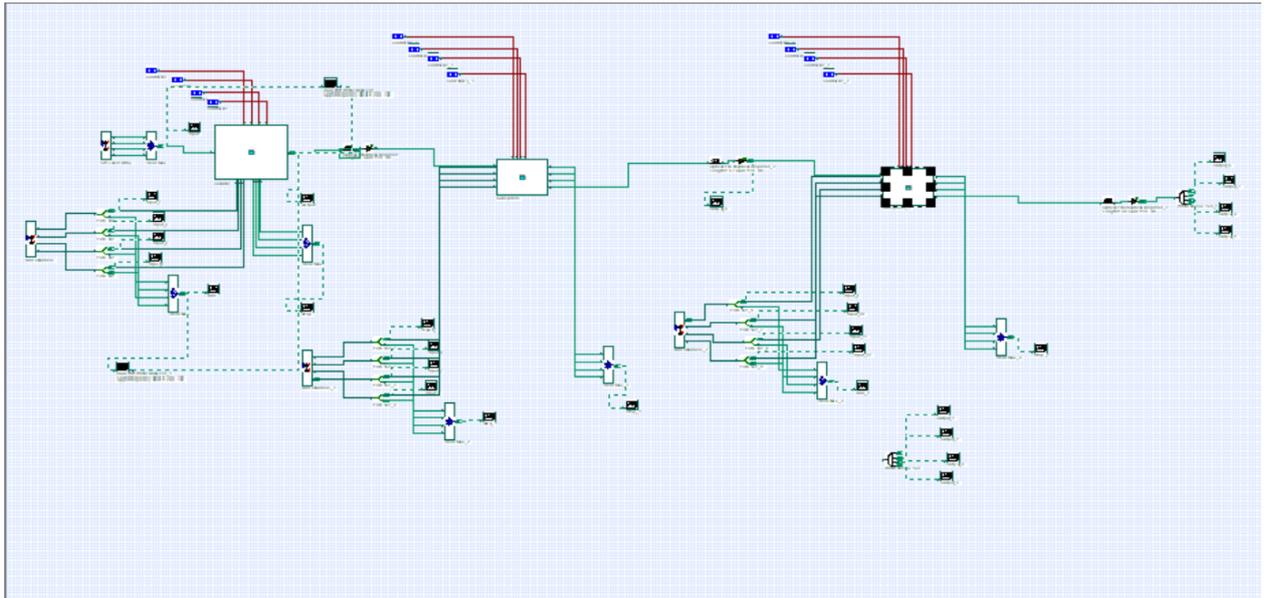


Figure IV.2 : Schéma d'un OADM

Le schéma représente trois routeurs optiques OADM qui permettent d'insérer ou extraire des longueurs d'onde. La diode laser CW connecté à l'OADM pour produire quatre signaux de longueurs d'ondes différentes avec une bande spectrale de 1MHz, tandis que le deuxième laser (ADD Channels) pour générer des canaux liés au port d'entrée avec 10 Mhz de bande spectrale (figureIV.3). Les analyseurs optiques ont été inclus pour vérifier l'intensité du signal.

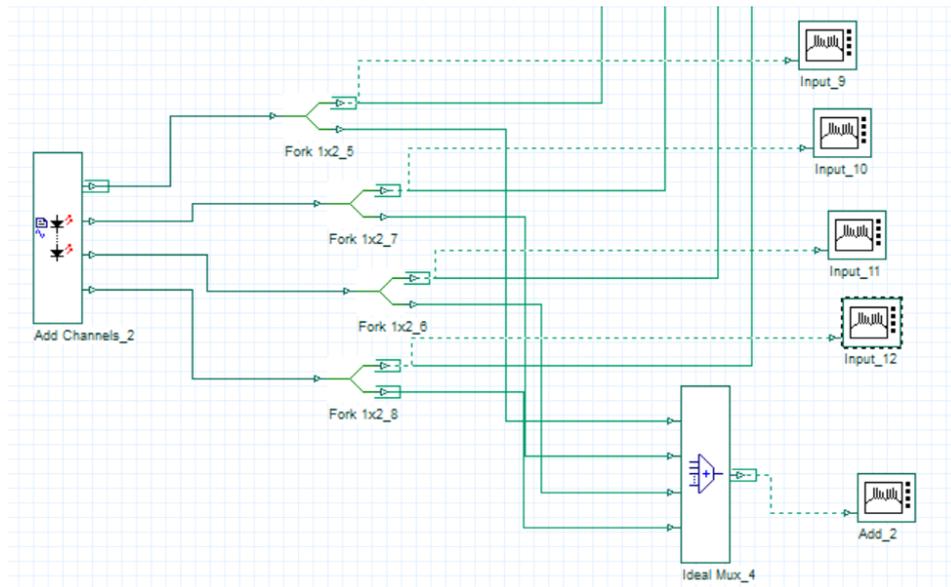


Figure IV.3 : Partie insertion des longueurs d'ondes

En utilisant des démultiplexeurs optiques, il devient possible d'extraire des longueurs d'onde comme montre la figure IV.4.

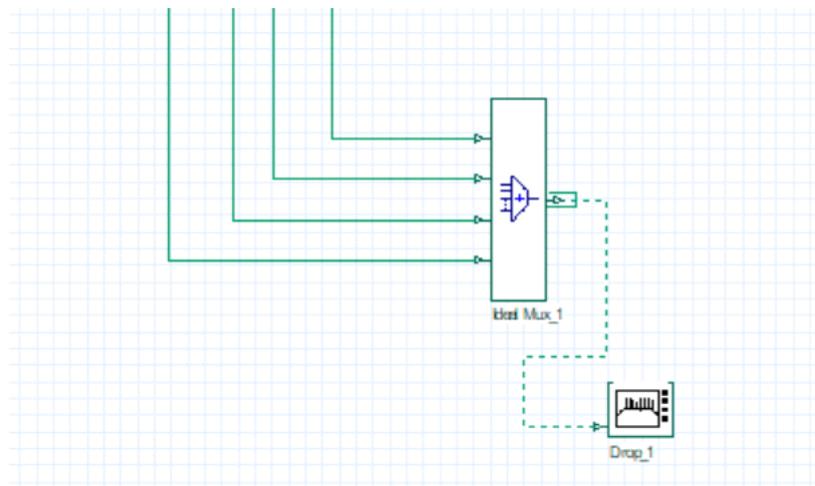


Figure IV.4 : Partie extraction des longueurs d'ondes

IV.3.2 Bloc 2

Le schéma ci-dessus représente l'intérieur de la structure d'un OADM :

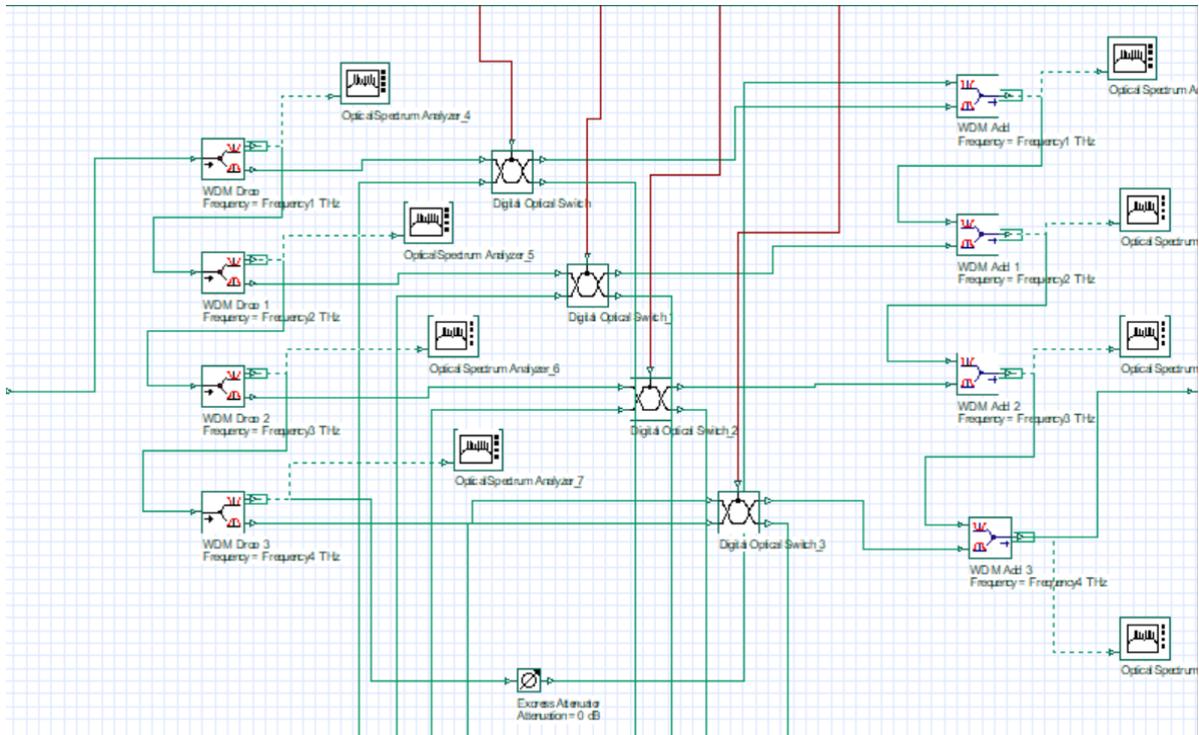


Figure IV.5 : Structure d'un OADM

La structure de l'OADM est composée de quatre diviseurs optiques, quatre commutateurs (switch) optiques et quatre coupleurs optiques. Chaque diviseur a pour rôle d'éliminer 3 longueurs d'ondes et garde une seule pour attaquer le commutateur. Les commutateurs jouent le rôle de modulateurs optique afin de générer un signal modulé. Les coupleurs (multiplexeurs) optiques ont pour rôle d'ajouter d'autres longueurs d'ondes s'il y a lieu.

IV.4 Analyse et interprétations des résultats

Dans cette partie suivante on va interpréter les résultats de cette simulation. Quatre longueurs d'ondes distinctes, à savoir 1550.1, 1550.2, 1550.3 et 1550.4 nm sont utilisées par la diode laser et sont ensuite multiplexées sur la fibre optique. Le spectre optique au niveau de l'émetteur comme indiqué la figure IV.6.

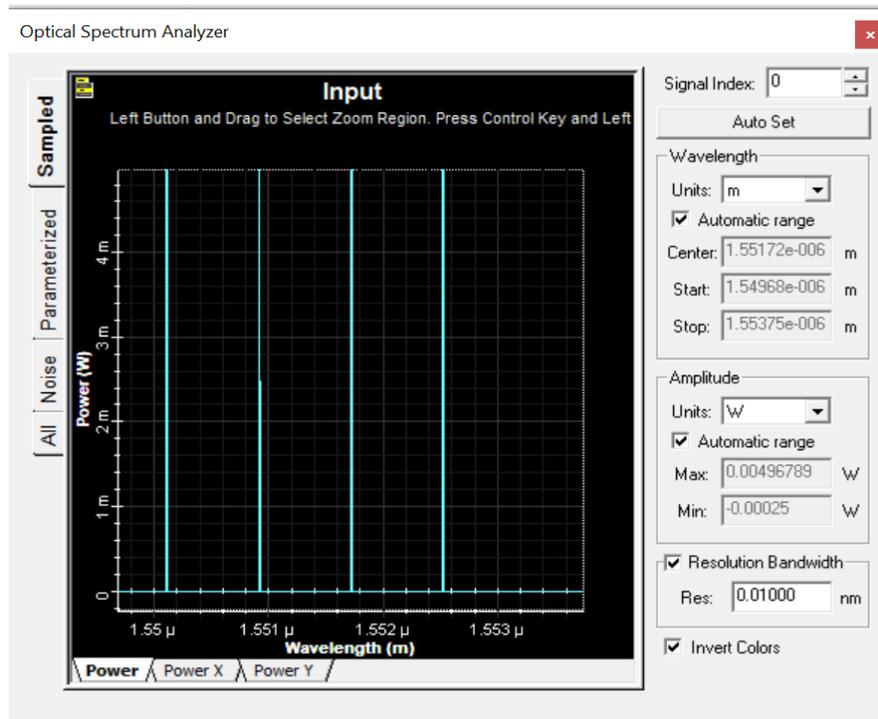


Figure IV.6 : Analyseur optique au niveau de l'émetteur

Le spectre optique insertion des longueurs d'ondes, comme le montre la figure IV.7.

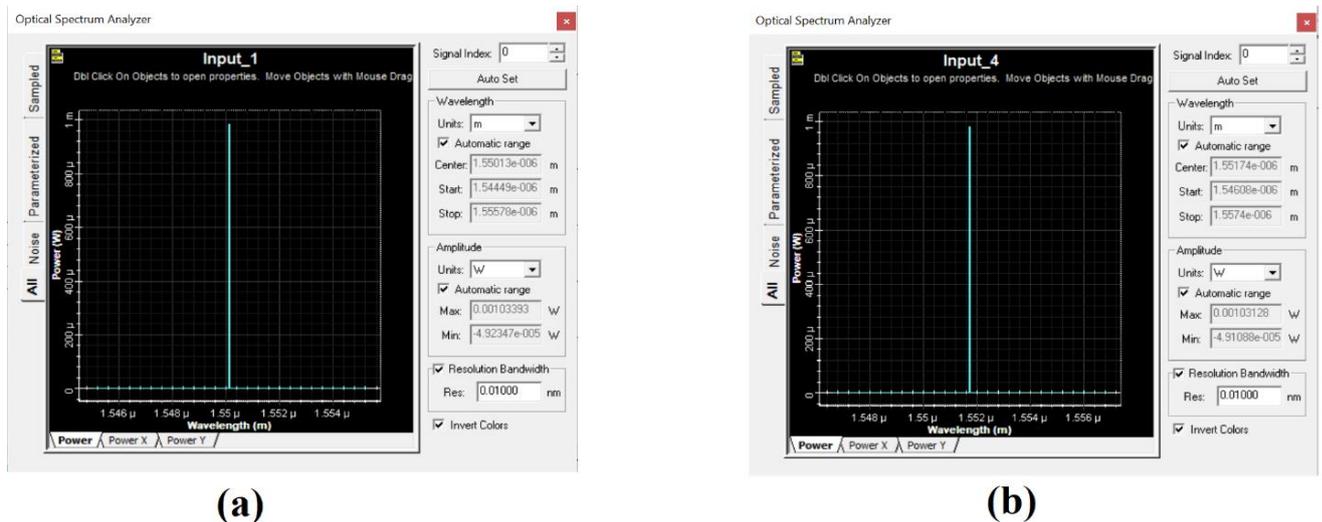


Figure IV.7 : Insertion des longueurs d'ondes 1550.1 nm figure (a) et 1550.2 nm figure (b)

Simulation et Interprétations des résultats

Le spectre optique extraction des longueurs d'ondes, comme le montre la figure IV.8.

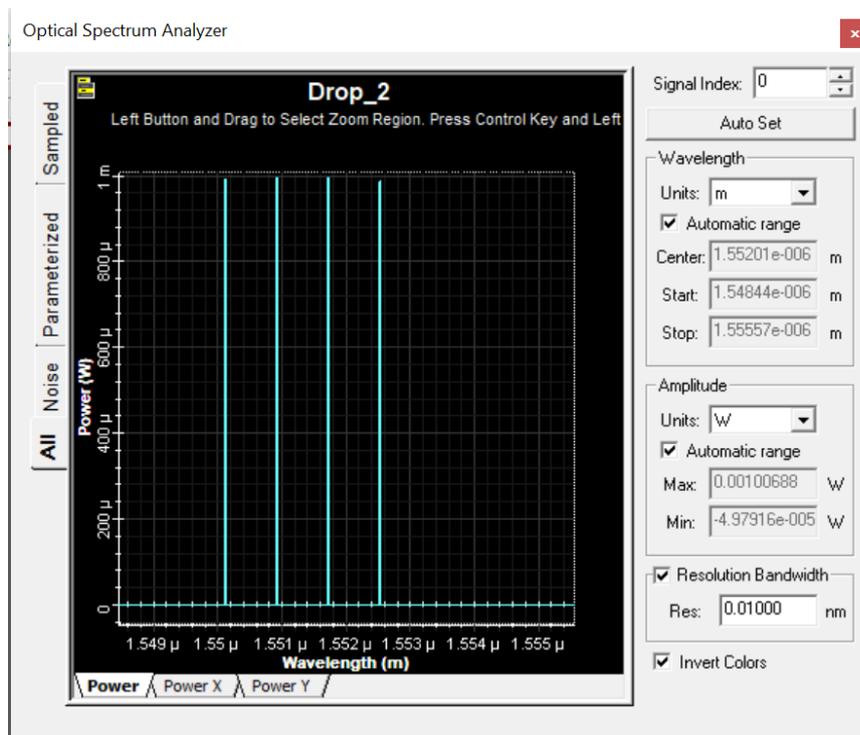


Figure IV.8 : Extraction des longueurs d'ondes

On extraire les longueurs d'ondes 1550.2 nm et 1550.3 nm figure IV.9 comme suit :

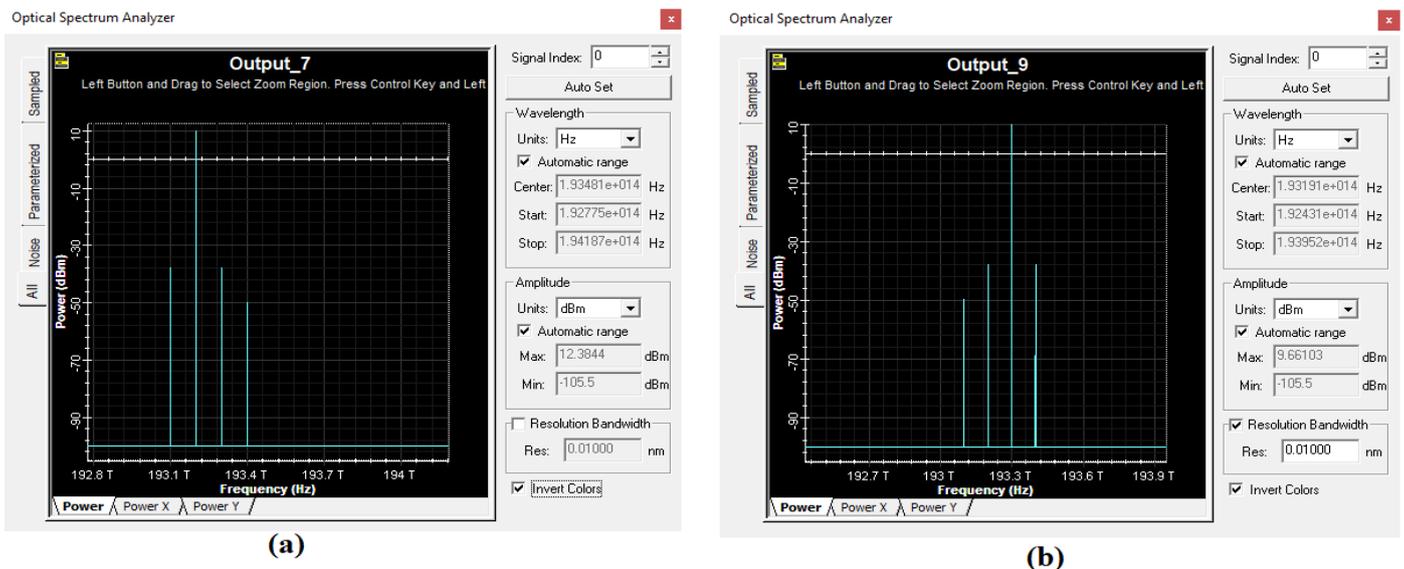


Figure IV.9 : Extraction des longueurs d'ondes, 1550.2 nm figure (a) et 1550.3 nm figure (b)

Simulation et Interprétations des résultats

L'augmentation de la longueur de la fibre est une solution pour réduire le nombre de routeurs optiques, cependant, elle présente le défi de diminuer l'intensité du signal. Le résultat du signal obtenu dans la figure ci-dessous est simulé avec une longueur de la fibre égale à 50 km, un gain d'amplificateur de 10 dB et de 1mW de puissance de la diode.

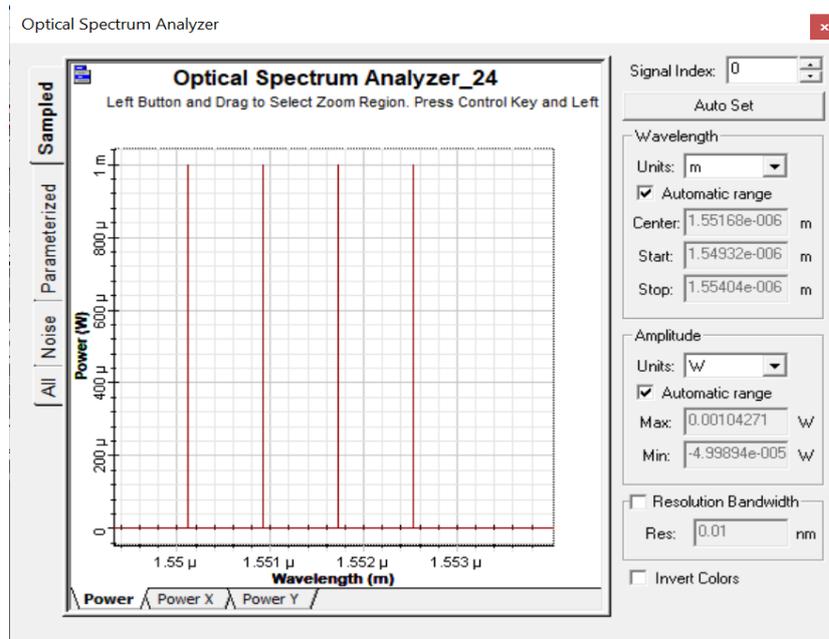


Figure IV.10 : Spectre optique avec longueur de fibre de 50 km

Simulation et Interprétations des résultats

La figure IV.11 montre la simulation pour une distance de 80 km de la fibre, avec un gain de l'amplificateur est de 10 dB la puissance de la diode laser est de 1mW. On remarque que l'intensité du signal est faible.

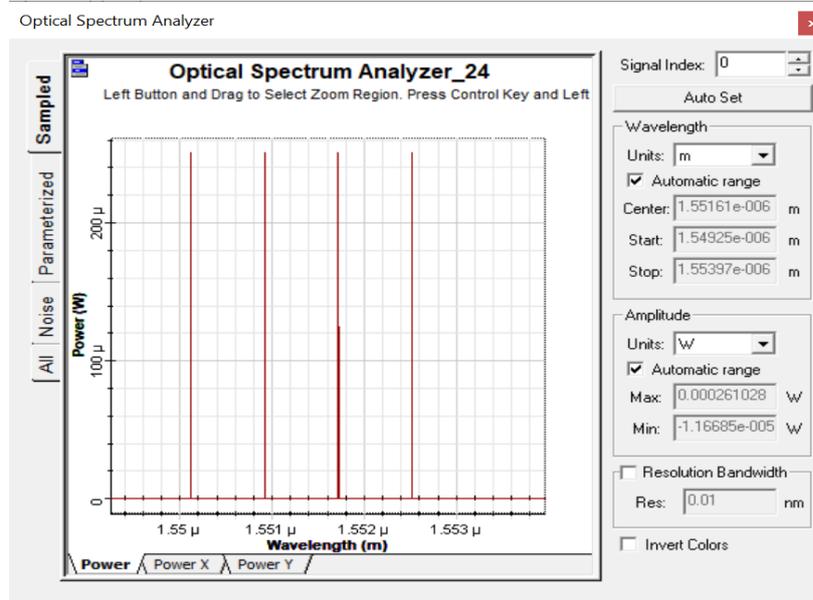


Figure IV.11 : Spectre optique avec longueur de fibre de 80 km

Comme solution pour augmenter l'intensité, on choisit un gain de 20 dB figure IV.12.

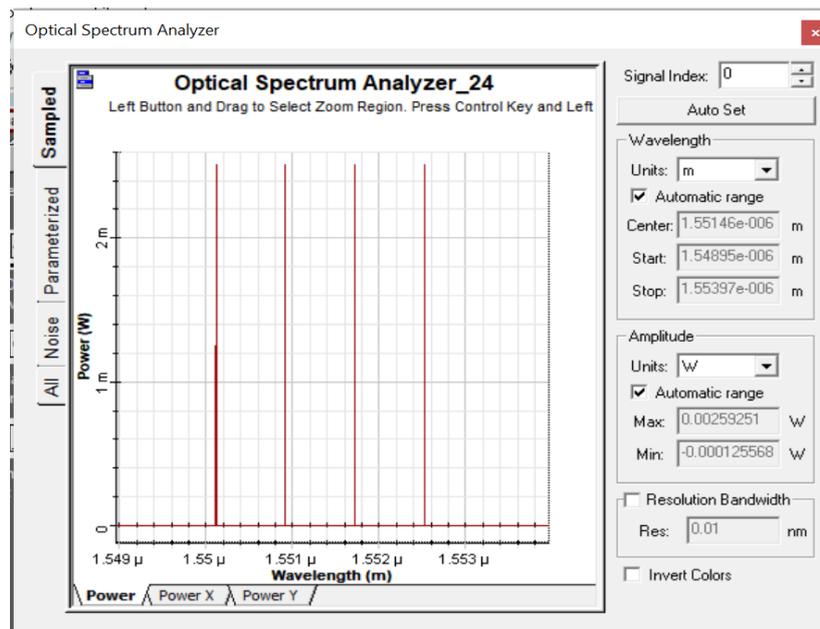


Figure IV.12 : Spectre optique avec un gain de 20 dB

Simulation et Interprétations des résultats

L'intensité est beaucoup mieux avec un gain de 20 dB. Pour améliorer le signal encore mieux on peut augmenter la puissance de la diode à 5mW, figure IV.13

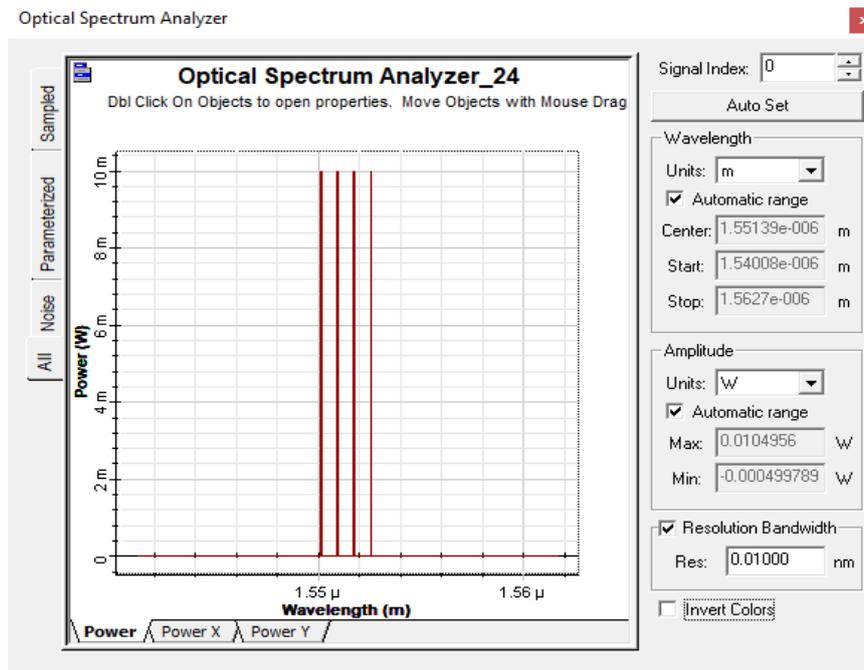


Figure IV.13 Spectre optique avec une puissance de 5mW

Les tableaux suivants représentent résumé des résultats de la simulation :

Paramètres	La diode laser	Longueur de la fibre	Le gain	L'intensité di signal
La valeur	1mW	50 km	10 dB	1mW

Paramètres	La diode laser	Longueur de la fibre	Le gain	L'intensité di signal
La valeur	1mW	80 km	20 dB	2,5 mW

Simulation et Interprétations des résultats

Paramètres	La diode laser	Longueur de la fibre	Le gain	L'intensité di signal
La valeur	5mW	100 km	10 dB	10 mW

IV.5. Conclusion

Ce chapitre décrit la simulation d'un routeur optique OADM, utilisant des multiplexeurs optiques, des filtres accordables, des lasers accordables et des commutateurs optiques.

Lors de la réalisation d'expériences, il a été observé qu'à chaque fois la longueur de fibre augmente, le cas de 80 km, l'intensité du signal diminue. Pour résoudre ce problème de diminution on a suivi deux solutions. Premièrement, le gain de l'amplificateur est changé de 10 dB à 20 dB. Deuxièmement, la puissance de la diode laser est augmentée de 1mW à 5mW.

Conclusion générale

Ce mémoire, portant sur des systèmes de technologie de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) qui a introduit l'usage du multiplexage optique à insertion/extraction (OADM). Ces dispositifs insèrent et extraient des longueurs d'onde de la ligne WDM, tout en gardant les autres longueurs d'onde dans le domaine optique grâce à l'utilisation de filtres fixes. Au vu de la recherche que nous avons effectuée, nous sommes parvenus à la conclusion suivante :

On a commencé d'étudier des réseaux OTN qui reposent sur les principes de la technologie SDH. La production d'équipements de télécommunication repose sur l'utilisation de technologies de pointe telles que la technique WDM, OADM,... Ces composants est importants dans le développement d'équipements capables d'offrir un service amélioré, une fiabilité et un fonctionnement transparent sur le réseau. Les produits créés à partir de ces technologies sont fondamentaux pour l'établissement des télécommunications à large bande.

Puis on a entamé la technique du multiplexage par répartition en longueur d'onde WDM pour augmenter le débit optique, et nos études et simulations montrent que l'augmentation du nombre de canaux est directement liée à l'augmentation du débit et à la réduction des coûts.

Après on a introduit la notion des routeurs optiques l'OADM. Notre but principal est comment l'information véhiculer de l'expéditeur jusqu'au récepteur en utilisant trois routeurs et des liaisons par fibre optique. Nous avons traités plusieurs. On a commencé par 4 utilisateurs avec des longueurs d'ondes différentes. Puis l'extraction des longueurs d'ondes qui signifie l'élimination des utilisateurs. Après l'insertion de d'autres longueurs d'ondes qui signifié que d'autres utilisateurs entre en réseau.

En second étape on est intéressé d'augmenter la distance de liaison par fibre optique. Parce qu'elle est liée directement au nombre de routeurs utilisés, c-à-d augmenter la distance en gagne le nombre de routeurs dans les réseaux. Puisque le nombre de routeurs pose un problème majeur cotés algorithme pour trouver le chemin optimum avec leur complexité.

Comme un travail qui reste pour l'avenir d'avoir un nombre élevé de routeurs, plusieurs utilisateurs et surtout le calcul du chemin optimal.

Références bibliographie

- [1] Lecoy Pierre, « Communications sur fibres optiques », Page 225.
- [2] <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/PDH-vs-SDH.html>
- [3] Jarray Abdallah, « Planification et dimensionnement des réseaux optiques de longues distances », Thèse présentée à la Faculté des arts et des sciences en vue de l'obtention du grade de Philosophie Doctor (Ph.D) en informatique, Université de Montréal, Août 2009.
- [4] <https://www.dialogic.com/glossary/digital-cross-connect-system-dcs>.
- [5] Mehdi Haitami, « Optimisation multicouche des réseaux optiques WDM : heuristiques tabou pour la résolution à moindre coût du problème de groupage routage d'affectation de longueurs d'ondes », Thèse de doctorat Spécialité : génie électrique, Sherbrooke (Québec), Canada, Décembre 2014.
- [6] Mayssa Youssef, « Réseaux de Transport WDM : Planification de Réseaux Translucides et Economie d'Énergie », T H È S E pour obtenir le grade de docteur délivré par TELECOM ParisTech Spécialité « Informatique et Réseaux », 16 Décembre 2011.
- [7] Morea Annalisa, « Contribution à l'étude des réseaux optiques translucides : évaluation de leur faisabilité technique et de leur intérêt économique », Présentée pour obtenir le grade de docteur de l'Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, Paris, 27 octobre 2006.
- [8] ADEPO Joël Christian, « Reconfiguration du routage multicast dans les réseaux optiques WDM », THESE Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Nangui Abrogoua, 06 Septembre 2016.
- [9] Lucian Gabriel Ioan, Graziela Niculescu, Marius Vochin, « Transmission, commutation et routage dans les réseaux de communication ».
- [10] Amira Kamli, « Analyse et optimisation d'une nouvelle architecture de réseau optique futuriste », These de doctorat de l'Institut Polytechnique de Paris préparée à Télécom SudParis, 13 novembre 2019.
- [11] Sami Baraketi, « Ingénierie des Réseaux Optiques SDH et WDM et Etude Multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM », THESE en vue de l'obtention du doctorat de l'université de toulouse, 31 mars 2015.
- [12] Syed Ashar Ali and Sang Jeen Hong, «Compact arrayed waveguide gratings for visible wavelengths based on silicon nitride».
- [13] Boubrik Nacer, Chamed Said, Ferhani Samia, «Etude et Application de la transmission SDH via fibre optique », Mémoire de fin

d'études Présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique, 02 juillet 2009.

- [14] El Yebdri Zohra, Bousmaha Ghizlene, « Modélisation et Optimisation des Routeurs Optiques : Application à l'Insertion et l'Extraction des Longueurs d'Ondes », MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER, 27 juin 2021.
- [15] Bruno.Beauquier, « Communication dans les réseaux optiques par multiplexage en longueur d'onde », Thèse présentée à l'université de nice-SOPHIA ANTIPOLIS pour obtenir le titre de docteur, 17 janvier 2000.
- [16] Rakotoson Fanantenana Tantely, «Modelisation et exploitation du routage optique WDM», Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de master a visée professionnelle, université D'ANTANANARIVO, 20 avril 2016.
- [17] Martin Levesque, « Mécanismes de résolution et de prévention de la contention pour les réseaux optiques à commutation de rafales », Mémoire présenté comme exigence partielle de la maîtrise en informatique, Université du Québec à Montréal, janvier 2010.
- [18] Bijoy Chand Chatterjee, Nityananda Sarma, Partha Pratim Sahu, Eiji Oki, « Routing and Wavelength Assignment for WDM-based Optical Networks », page 19-20-21.
- [19] <http://fr.fiber-optical-transceivers.com/info/know-more-about-oadm-optical-add-drop-multipl-42334907.html>
- [20] Bouibih Salah, Elouali Abderrahman, Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master en Système de télécommunication, « Etude d'un multiplexeur à insertion/extraction reconfigurable », Promotion 2021.
- [21] Benghalem Fatima Zahra, Benhamed Fatima Zahra, Mémoire Pour l'obtention du diplôme de MASTER en Télécommunication, « Etude d'un système WDM DPSK-NRZ », Mai 2015.
- [22] <http://fr.fibresplitter.com/info/getting-to-know-optical-circulator-49212923.html>
- [23] Karim JAAFOURA, Mémoire présenté à l'école de technologie supérieur à l'obtention de la maîtrise en génie concentration réseaux de télécommunications, «Conception et caractérisation d'un ROADM à temps de commutation», Montréal, 5 Juillet 2010.
- [24] Tahi Mimouna Merabta, Chadouli Sabra, Projet de fin cycle En vue de l'obtention du diplôme de Master en aéronautique, « Analyse Numérique Et Etude Spectrale De Réseaux De Bragg A Fibre : Compensation De La Dispersion Chromatique Dans Une Ligne De Transmission Optique », Promotion 2019.

[25] <http://fr.fiber-optical-transceivers.com/info/know-more-about-oadm-optical-add-drop-multipl-42334907.html>

[26] <https://fr.fmuser.net/content/?8521.html>

[27] Lakhdar Fatima Zahra, Chibani Sara, « Etude et simulation d'une source optique débitant des impulsions à ultra-haut débits », Mémoire pour l'obtention du diplôme de master en système de télécommunication, Université Dr.Tahar Moulay-Saida, 29 Septembre 2020.

[28] Litim Salsabil, Belaid Chourouk, « Simulation d'une chaîne optique multiplexée », Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master, Université Badji Mokhtar Annaba, Promotion 2020.

Résumé

Un multiplexeur optique d'insertion/extraction (OADM) est un dispositif réseau de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) qui permet de supprimer ou d'ajouter des longueurs d'onde spécifiques sans couper la totalité de la fibre optique.

Nous avons simulé trois routeurs optiques à l'aide du logiciel Optisystem. On a montré comment on insère et extrait des longueurs d'ondes dans le réseau, on utilisant des commutateurs, multiplexeur, et coupleur. Puis, on a augmenté la distance de la fibre optique de 50 km jusqu'à 100 km pour minimiser le nombre des routeurs sur le réseau.

Mots clés :

Réseaux tout optiques, multiplexage en longueur d'onde, multiplexage à insertion/extraction, routeurs, commutateurs.

Abstract

An Optical Insertion/Extraction Multiplexer (OADM) is a Wavelength Division Multiplexing (WDM) network device that removes or adds specific wavelengths without cutting the entire optical fiber.

We have simulate three optical routers using Optisystem software. We have shown how we insert and extract wavelengths in the network, using switches, multiplexers, and couplers. Then, we spread the distance of the optical fiber by 50 km to 100 km to minimize the number of routers on the network.

Key words

All-optical networks, wavelength division multiplexing, add/drop multiplexing, routers, switches.

ملخص

مضاعف الإرسال/الاسقاط البصري (OADM) هو جهاز شبكي بتقسيم الطول الموجي (WDM) يسمح باستخراج أو إضافة أي طول موجة محددة (يقوم بإزالة أو إضافة أطوال موجية محددة دون قطع الألياف الضوئية بأكملها).

قمنا بمحاكاة ثلاثة موجّهات ضوئية باستخدام برنامج Optisystem. لقد أوضحنا كيف نقوم بإدراج وإخراج أي طول موجة في الشبكة، باستخدام المفاتيح، مضاعفات الإرسال والمقرنات. ثم قمنا بتكبير المسافة بين هذه الموجات من 50 كم إلى 100 كم لتخفيض عدد الموجّهات في الشبكة.

الكلمات المفتاحية: شبكة ضوئية كاملة، تعدد الإرسال باستعمال تقسيم طول الموجة، الموجّهات، المفاتيح

