

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abou Berk Belkaid – Tlemcen –

Faculté : science de technologie

Département de télécommunication



Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de
Master en Système de télécommunication

THEME

*Etude d'un multiplexeur à insertion/extraction
reconfigurable*

Présenté par :

- ❖ Bouibih Salah
- ❖ Elouali Abderrahman

Soutenu en .. 2021 devant un jury composé de :

- Encadreur : khelladi mounir
- Président
- Examineur

Remerciement

*Tout d'abord, grâce à Dieu, grâce auquel cette
note a été complétée*

*J'adresse mes sincères remerciements au
superviseur pour tous ses efforts pour que ce
travail soit un succès*

*Ainsi qu'à tous les collègues
Et j'exprime mes remerciements à tous ceux qui
m'ont aidé un peu ou beaucoup, et je n'oublie pas
de remercier le jury qui s'est manifesté pour
évaluer ce travail*

Bouibih Salah

Remerciement

À l'issue de ce travail, nous remercions, en premier lieu ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la force et le courage de le mener à terme.

J'adresse tout particulièrement à Mr « M.KHELLADI Mounir », professeur de conférence à l'Université Abou-Bakr Belkaid, mes sincères reconnaissances et mes remerciements les plus vifs, de m'avoir dirigé et guidé tout le long de ce travail. Ses critiques constructives, remarques et précieux conseils ont contribué à faire progresser mes recherches.

Je voudrai très sincèrement remercier l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'accepter de lire et de juger ce mémoire, Monsieur Omar. SEDDIKI professeur à l'université de Tlemcen qui a bien accepté de présider le jury, Monsieur Belkacem. BENADDA professeur à l'université de Tlemcen pour l'honneur qu'il me fait d'avoir bien voulu accepter de participer à ce jury.

Et finalement je tiens à remercier chaleureusement et respectivement toute personne qui m'a aidée de près ou de loin à la réalisation de ce modeste projet de fin d'étude.

Elouali Abderrahman

Dédicaces

Louange à Dieu qui par Sa grâce fait de bonnes actions

Et par sa conciliation j'ai récolté le fruit de l'effort et du succès, que je dédie à celui qui m'a amené à tout le succès de ma chère mère

Je dédie également la récompense de mon travail à mon père, à la miséricorde de Dieu

À tous ceux qui ont du crédit pour moi

À la chère famille

À mon binôme ELOULI ABDERRAHMAN

À tous ceux qui m'ont soutenu et ont eu une faveur sur moi, surtout à mentionner ()

Bouibih Salah

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents qui ont été là pour moi durant toutes mes années, en m'apportant leur amour et leur soutien physique et moral

Mes frères et sœurs qui m'ont aussi encouragé par leur affection et encouragement

Mes amis ceux qui sont proches tout comme ceux qui sont loin, ainsi que toutes mes connaissances

Mes remerciements à mon binôme BOUIBIH SALAH pour tout l'effort fourni et la bonne collaboration

Pour finir, je remercie mes enseignants et tous mes camarades de la promotion.

Elouali Abderrahman

Résumé

Dans notre travail nous avons étudié un multiplexeur d'insertion/extraction de reconfigurable (ROADM), puis nous l'avons simulée à l'aide de logiciel « Optisystem », en suite interprété les résultats obtenus.

L'ROADM est un dispositif clé et joue un rôle très important dans les réseaux de communication optiques, il est capable d'ajouter ou d'extraire n'importe quelle longueur d'onde, c'est en temps réel, sans affecter sa qualité, il est également reconfigurable et permet le contrôle des longueurs d'onde à distance, faciliter la gestion du réseau, et le rendre plus flexible.

Mots clés : Optisystem, Reconfigurable, Réseaux optiques, ROADM.

Abstract

In our work we first studied a reconfigurable insertion/extraction multiplexer (ROADM), then we simulated it using « Optisystem » software, then interpreted the results obtained. The ROADM is a key device and plays a very important role in optical communication networks, it is able to add or extract any wavelength, it is in real time, without effecting its quality, it is also reconfigurable and allows remote wavelength control, facilitate network management, and make it more flexible.

Keywords: Optisystem, Reconfigurable, Optical Network, ROADM.

ملخص

في عملنا قمنا بدرسنا معدد إدخال/إستخراج القابل لإعادة التشكيل ال : (ROADM)، و بمحاكاته بإستخدام برنامج "Optisystem"، ثم فسرنا النتائج التي تم الحصول عليها.

ال ROADM جهاز رئيسي ويلعب دورا هاما في شبكات الاتصالات البصرية ، بإمكانه إضافة أو استخراج أي طول موجي ، في الوقت الحقيقي ، بدون التأثير على جودتها ، كما انه قابل لإعادة التشكيل ويسمح بالتحكم في الاطول الموجية عن بعد ، مما يسهل إدارة الشبكة ، وجعلها أكثر مرونة .

الكلمات المفتاحية : Optisystem ، قابل للإعادة التشكيل ، الشبكات البصرية ، ROADM

Sommaire

Remerciement

Résumé

Abstract

ملخص

Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des acronymes

Liste des équations

Introduction générale.....

<i>Chapitre I: Composantes optiques</i>	<i>page</i>
• Introduction	01
• Composantes optiques	04
II.1. Diode électroluminescente et diode laser.....	04
II.1.1. Diod électroluminescente (DEL).....	04
II.1.2. La diode laser (DL)	07
II.2. Photodiode	11
II.2.1. Photodiod PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiode).....	11
II.2.2. Photodiode APD (Avalanche Photo Diode).....	12
II.3. Coupleur optique.....	15
II.4. Switch optique.....	16
II.4.1. Fonctionnement.....	16
II.4.1.1. Les Commutateurs. MEMS	17
II.4.2. Applications.....	18
II.4.3. Avantages de l'utilisation de silicium pour micro-optique Composant	18
• Conclusion.....	19
<i>Chapitre II: Multiplexage optique</i>	<i>page</i>
• Introduction	21
• Technique de multiplexage optique	21

II.1. AWG (Array Wave Guide).....	21
II.1.1.Fonctionnement des appareils AWG.....	22
II.2.WDM (Wavelength Division Multiplexing).....	23
II.2.1. rôle et principe de fonctionnement de WDM.....	23
II.2.2. Modes de transmission de WDM	25
II.2.3. Différents composants d'un système WDM.....	27
II.2.4. Avantages et inconvénients du WDM.....	28
II.2.5. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)	29
II.2.5.1. Avantages et Inconvénients de DWDM.....	29
II.2.6. CWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)	30
II.2.6.1. Avantages et Inconvénients de CWDM	30
II.2.7. Différence entre DWDM et CWDM.....	31
II.3.1. Réflectivité.....	34
• Conclusion.....	35

Chapitre III: Routeur Optiques

page

• Introduction	37
III.1. Multiplexeur à Insertion/Extraction optique (OADM).....	37
III.1.1. Définition.....	37
III.1.1.1 Structure d'OADM.....	38
III.1.1.2. Fonction principale et Principe de fonctionnement d'OADM.....	39
III.1.1.3. brasseur optique (OXC).....	40
III.1.1.4. circulateurs optiques.....	41
III.1.1.5. réseaux de Bragg.....	42
III.1.2. Application de l'OADM.....	42
III. 3. Type.....	43
III.3.1. L'avantage de ROADM par rapport à l'OADM.....	43
III.2.Multiplexage à Insertion/Extraction optique reconfigurable (ROADM).....	44
III.2.1. Définition.....	44
III.2.2. Théorie.....	46
III.2.2.1. Atténuation dans la fibre.....	46
III.2.2.2. La dispersion dans une fibre optique.....	47
III.2.3. Les effets non linéaires	50

Sommaire

III.2.4. Taux d'erreur binaire (BER).....	52
III.2.5. Facteur de qualité (Q).....	53
III.2.6. Le rapport signal sur bruit optique (OSNR).....	54
III. 3. Type.....	54
III.3.1. ROADM basé sur un WB.....	57
III.3.2. ROADM basé sur un WSS.....	59
III.3.3. ROADM basé sur un WXC.....	63
• Conclusion.....	63

Chapitre IV : Simulations et interprétations des résultats

page

• Introduction	67
IV.1. Présentation du logiciel de simulation OptiSystem.....	67
IV.2. Simulations.....	69
• Conclusion.....	76

Liste des figures

<i>FIGURE</i>	<i>PAGE</i>
Figure 1.1: Structure d'une diode DEL.....	05
Figure 1.2: Diode DEL.....	05
Figure 1.3: Circuit de polarisation de la LED.....	06
Figure 1.4: LED sous polarisation direct; Structure et diagramme d'énergie.....	06
Figure 1.5: Spectre d'émission d'une DEL.....	07
Figure 1.6: Symbole d'une diode laser DEL.....	07
Figure 1.7: Diode laser DEL.....	07
Figure 1.8: Structure d'une system laser DEL.....	08
Figure 1.9: (a) Absorbation, (b) émission spontanée et (c) émission stimulée.....	09
Figure 1.10: Caractéristique spectrale d'une diode laser.....	09
Figure 1.11: Structure d'une diode laser au GaInAsP.....	09
Figure 1.12: Déférence de fonctionnement entre DL et DEL.....	10
Figure 1.13: Structure d'une photodiode.....	11
Figure 1.14: Structure d'une photodiode PIN.....	12
Figure 1.15: Structure d'une photodiode APD.....	13
Figure 1.16: Principe et exemple d'un coupleur optique.....	15
Figure 1.17: Coupleur N×N fabriqué à partir de N fibres.....	15
Figure 1.18: Coupleur N×N fabriqué à partir de la mise en cascade de coupleurs 2×2.....	16
Figure 1.19 : Structure d'une Commutateurs system micro électromécanique (MEMS).....	17
Figure 1.20 : Structure d'une Commutateurs MEMS 2D.....	17
Figure 1.21 : Structure d'une Commutateurs MEMS 2D.....	18
Figure 2.1: Structure d'une AWG.....	22
Figure 2.2: Fonctionnement des appareils AWG.....	23
Figure 2.3: Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.....	24
Figure 2.4: Fonctionnement d'un prisme.....	25
Figure 2.5: Transmission unidirectionnelle.....	26
Figure 2.6: Transmission bidirectionnelle.....	26
Figure 2.7: Les différents composants d'un système WDM.....	27
Figure 2.8: Les longueurs d'onde utilisée pour CWDM et DWDM.....	32

Figure 2.9: Structure d'un réseau de Bragg	33
Figure 2.10: Schéma illustrant les propriétés d'un réseau de Bragg.....	34
Figure 2.11: Réflectivité dans un réseau de Bragg	35
Figure 3.1: principe d'un OADM.....	38
Figure 3.2: Présentation sémantique l'OADM.....	39
Figure 3.3: Fonctionnement de l'OADM.....	40
Figure 3.4: brasseur ou OXC.....	40
Figure 3.5: Exemple OXC et OADM.....	41
Figure 3.6: Circulateurs optiques	41
Figure 3.7: Schéma d'un OADM à base de réseaux de Bragg et des circulateurs optiques.....	42
Figure 3.8: Application de l'OADM.....	43
Figure 3.9 : Schéma d'un ROADM 2X1	45
Figure 3.10 : Structure l'ROADM.....	46
Figure 3.11 : Effet de la dispersion chromatique : le signal qui se propage s'élargit.....	47
Figure 3.12 : <i>Schéma de principe du DGD dû à la biréfringence</i>	49
Figure 3.13 : Principe d'évaluation du taux d'erreur par le facteur Q	53
Figure 3.14: Wavelength Blocker.....	55
Figure 3.15: Wavelength Selective Switch" à base de MEMS.....	56
Figure 3.16 : Wavelength Cross Connect" de 4 fibres de 2 canaux.....	57
Figure 3.17 : ROADM avec un module WB.....	59
Figure 3.18 : Deux réseaux en anneau reliés par un ROADM.....	59
Figure 3.19 : Schéma d'un WSS-ROADM coloré.....	60
Figure 3.20 : Schéma d'un "colorless WSS-ROADM ".....	61
Figure 3.21 : Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM" de degré 4.....	62
Figure 3.22 : Schéma d'un ROADM basé sur un WXC.....	63
Figure 3.23 : Prévision de la vente mondiale des systèmes ROADMs, période 2005-2011.....	65
Figure 4.1 : La bibliothèque de logiciel optisystem.....	68
Figure 4.2 : Éditeur du layout.....	68
Figure 4.3 : Schéma d'un routeur optique à insertion/extraction des longueurs d'ondes.....	69
Figure 4.4: Schéma à l'intérieur d'OADM.....	70
Figure 4.5: Analyseur de spectre optique au niveau de l'émetteur.....	70
Figure 4.6 : Analyseur de spectre optique insertion des longueurs d'ondes.....	71
Figure 4.7 : Analyseur de spectre optique extraction des longueurs d'ondes.....	71

Liste des figures

Figure 4.8 : Analyseur de spectre optique au niveau du récepteur.....	72
Figure 4.9 : Analyseur WDM double port entre l'entrée et la sortie.....	73
Figure 4.10 : Analyseur WDM double port entre l'entrée et après l'extraction des longueurs d'ondes.....	73
Figure 4.11 : Analyseur WDM double port entre le multiplexeur après insertion des longueurs d'ondes et la sortie.....	74

Liste des tableaux

<i>TABLEAUX</i>	<i>PAGE</i>
Tableau 1.1: Comparaison entre les diodes (DL et DEL).....	10
Tableau 1.2: Tableau comparatif des photodiodes PIN et PDA.....	14
Tableau 2.1: Comparaison CWDM et DWDM.....	32
Tableau 2.2: Comparaison entre les techniques de multiplexage (WDM, DWDM, UDWDM, CWDM)	33
Tableau 4.1. Les informations de fréquence 193,1.....	74
Tableau 4.2. Les informations de fréquence 193,2.....	75
Tableau 4.3. Les informations de fréquence 193,3.	75
Tableau 4.4. Les informations de fréquence 193,4.	76

Liste des acronymes

DEL: Diode Electroluminiscente.

DL: Diode Laser.

PIN: Positive Intrinsic Negative Photodiode/

APD: Avalanche Photo Diode.

FTTH: Fiber to Home.

MEMS: Micro-Electro-Mechanical Systems.

WDM: Wavelength Division Multiplexing.

AWG: Array Wave Guide.

TDM: Time Division Multiplexing.

OLT: Optical Line Termination.

ONU: Optical Network Unit.

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplificateur

MAN: Metropoliton Area Network

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing.

CDWDM: Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing.

OADM: Optical Add Drop Multiplexer.

OXC: Optical Cross Connect.

ROADM: Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer.

CWDM: Coarce Wavelength Division Multiplexing.

FOADM: Optical Add Drop Multiplexer fixe.

OEO: optique électrique optique.

dB:Decibel.

PMD: Dispersion modale de polarisation.

DGD: Différents temps de groupe différentiel.

SPM: Self Phase Modulation.

XPM: Cross Phase Modulation.

FWM: Four Wave Mixing.

BER: Bit Error Rate.

OSNR: Optical Signal to Noise Ratio.

WB: Wavelength Blocker.

Liste des équations

WSS: Wavelength Selective Switch.

WXC: Wavelength Cross Connec.

Q: Facture de qualité.

CW : Continous Wave.

COADM : Configuration Optical Add Drop Multiplexer.



Liste des équations

<i>EQUATIONS</i>	<i>PAGE</i>
Équation (1.1).....	05
Équation (1.2).....	12
Équation (1.3).....	13
Équation (1.4).....	13
Équation (2.1).....	25
Équation (2.2).....	33
Équation (2.3).....	35
Équation (3.1).....	47
Équation (3.2).....	49
Équation (3.3).....	50
Équation (3.4).....	51
Équation (3.5).....	51
Équation (3.6).....	51
Équation (3.7).....	51
Équation (3.8).....	52
Équation (3.9).....	53
Équation (3.10).....	54
Équation (3.11).....	55

Introduction général

La demande croissante de services de communication conduit à la recherche constante afin de développer des systèmes de communication et de les rendre plus performants, aujourd'hui les systèmes de communication ont connu un large progrès après l'avènement des communications optiques en 1970 qui reposent sur la lumière dans la transmission de données, qui est considéré comme plus rapide et protégés

Pour répondre aux besoins des usagers a été développée la technologie Wavelength Division Multiplexant (WDM) qui permettent l'utilisation de la capacité des fibres optiques au maximum et obtenez un débit très élevés

Grâce au développement continu des systèmes WDM a introduit l'usage des Multiplexeurs insertion/extraction (OADM), Ces derniers utilisent des dispositifs fixes pour ajouter et extraire des longueurs d'onde, ces (OADM) fixes a besoin d'une planification précise, il limitent le travail à des bandes bien spécifiques, et nécessite une intervention humaine pour changer la configuration de structure

Pour trouver une solution à ces inconvénients, la troisième génération des systèmes de multiplexage en longueur introduisent la technologie multiplexeurs insertion/extraction reconfigurable (ROADM), ce qui permet le contrôle des longueurs d'onde à distance, et en temps réel.

L'objectif de ce travail est d'étudier, simuler, et interpréter des résultats

Un multiplexeur insertion/extraction reconfigurable en utilisant le logiciel « Optisystem ».

Notre mémoire est organisé en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente les détails de tous les composants de base d'un système optique, tout en expliquant leurs définitions, et leurs structures.

Le deuxième chapitre présente l'ensemble des techniques de multiplexage dans les systèmes de télécommunication Optiques particulièrement le multiplexage WDM, les différents composants nécessaires pour le multiplexage, ainsi que les différentes solutions augmentant la capacité d'un système WDM. En plus une partie concerne aux concepts et détails d'un réseau de Bragg.

Introduction général

Le troisième chapitre est réservé à l'étude de routeur optique l'OADM et le ROADM, en présenté leurs définitions, détaillant les performances et structures des différents types, plus une partie théorique.

Enfin, dans le dernier chapitre nous présentons logiciel OptiSystem puis notre simulation Et on terminera par une conclusion.



Chapitre I : Composantes optiques

- **Introduction**

Les possibilités des systèmes de transmission sur fibre optique en particulier leur capacité très largement supérieure à celles des autres systèmes, jointes à l'apparition des nouveaux concepts et hiérarchies de réseaux ont provoqué un bouleversement complet de la structure des réseaux de télécommunications existants.

Dans ce premier chapitre on va essayer de définir quelques éléments d'une liaison optique.

Généralement on peut résumer sa composition comme suit :

- ❖ l'interface optique d'émission a pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. Il contient principalement le composant optoélectronique d'émission, qui peut être une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL).
- ❖ L'interface optique de réception contient une photodiode qui convertit le signal optique reçu en signal électrique.

On trouve ensuite des circuits de filtrage, amplificateur, multiplexeur, et la ligne de transmission (le câble optique)etc.

- **Composantes optiques**

II.1. Diode électroluminescente et diode laser

II.1.1 Diode électroluminescente (DEL)

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

Les diodes électroluminescentes sont des diodes qui émettent de la lumière quand un courant les parcourt.

Elles ne sont pas constituées de silicium, mais d'autres matériaux semi-conducteurs comme l'arséniure de gallium; de ce fait la tension présente à leurs bornes lorsqu'elles sont conductrices n'est pas 0,6V, mais elle vaut de 1,6V à 2,5V suivant la couleur de la lumière émise [1].

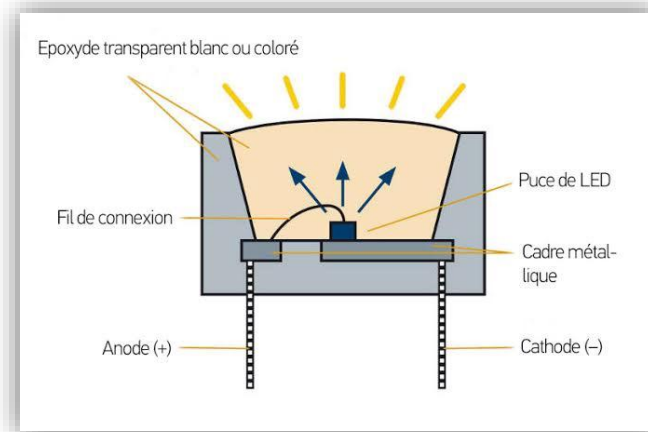


Figure 1.1: Structure d'une diode DEL.



Figure 1.2: Diode DEL.

La diode électroluminescente fonctionne sous polarisation directe. Lorsque la tension d'alimentation est assez importante, la LED doit être protégée par une résistance pour limiter le courant qui la traverse à des valeurs inférieures à l'intensité maximale de courant tolérée.

Ainsi, l'alimentation de la LED se fait plutôt en courant qu'en tension, et ceci à travers la résistance, présente dans le circuit (figure 1.3), qui permet de fixer ou limiter la valeur du courant ainsi que celle de la puissance lumineuse émise [2].

Le courant qui traverse la jonction est donné par l'expression :

$$I = I_s \left(e^{\frac{eV_d}{kT}} - 1 \right) \quad (1.1)$$

Avec :

I_s : le courant de saturation de la diode

K : la constante de Boltzmann,

T : la température

V_d : la tension aux bornes de la diode

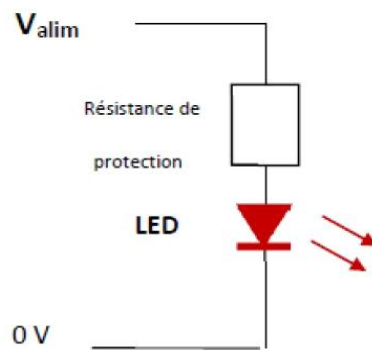


Figure 1.3: Circuit de polarisation de la LED

En polarisation inverse, la LED est plus fragile qu'une diode classique. Elle tolère des tensions inverses de l'ordre de 4 à 5 V [2].

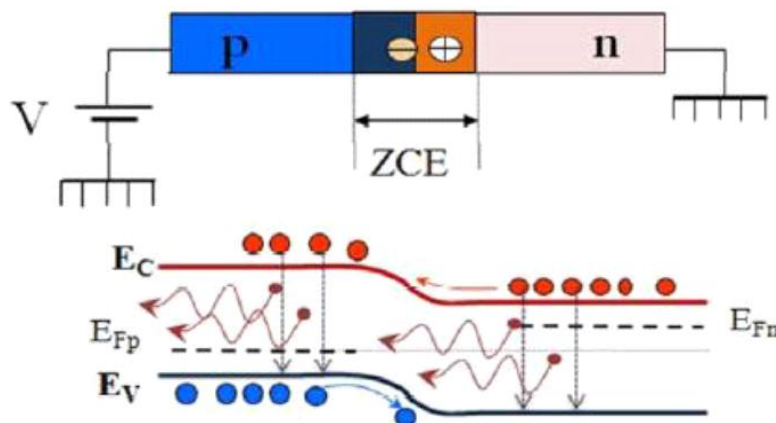


Figure 1.4 : LED sous polarisation directe ; structure et diagramme d'énergie [2].

Lorsque la DEL est polarisée dans le sens direct (figure 1.4), sous l'effet de la tension appliquée, les électrons (de plus grande mobilité) de la région **N** sont injectés vers la région **P** où ils sont minoritaires et se recombinent avec les trous dans une région au voisinage de la jonction, limitée par leur longueur de diffusion, appelée zone active. Ils donnent ainsi lieu à un faisceau lumineux incohérent, de couleur, donc de longueur d'onde, conditionnée par la composition et l'état du matériau de type **P** dans lequel se produit l'essentiel des recombinaisons.

La lumière émise peut ainsi être du domaine de radiations proche infrarouges, visibles ou ultraviolettes [2].

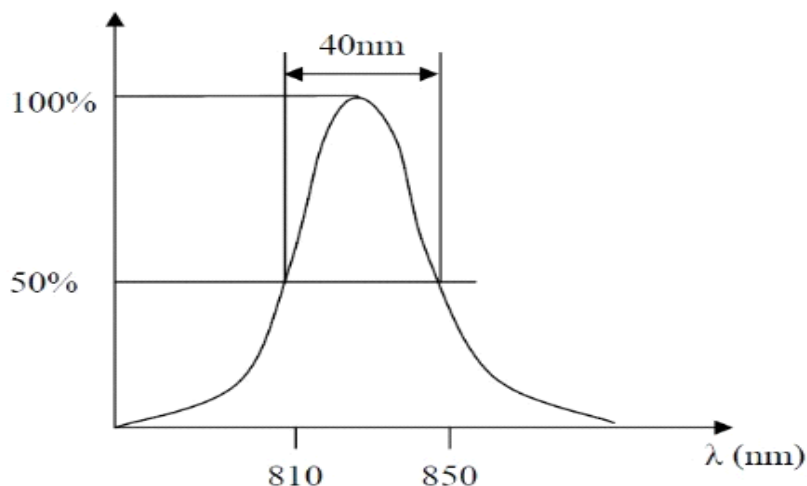


Figure 1.5: Spectre d'émission d'une DEL.

II.1.2. Diode laser (DL)

Dans les systèmes de communication optique, la source optique la plus utilisée est la diode laser, C'est une source cohérente, monochromatique, capable de produire un rayonnement par émission stimulée comme l'indique l'acronyme (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Ainsi la diode laser est la source la mieux adapter pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [3].

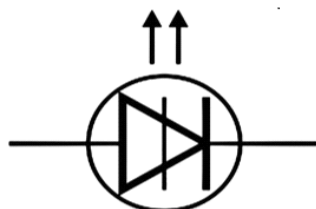


Figure 1.6: symbole d'une diode laser.



Figure 1.7: Diodes laser

La DL est composé de trois éléments essentiels :

- ✓ Le milieu actif,
- ✓ La pompe: source énergétique qui réalise l'inversion de population
- ✓ La cavité, limitée par deux surfaces, l'une réfléchissante presque à 100%, l'autre à 98% de façon à laisser sortir le faisceau laser.

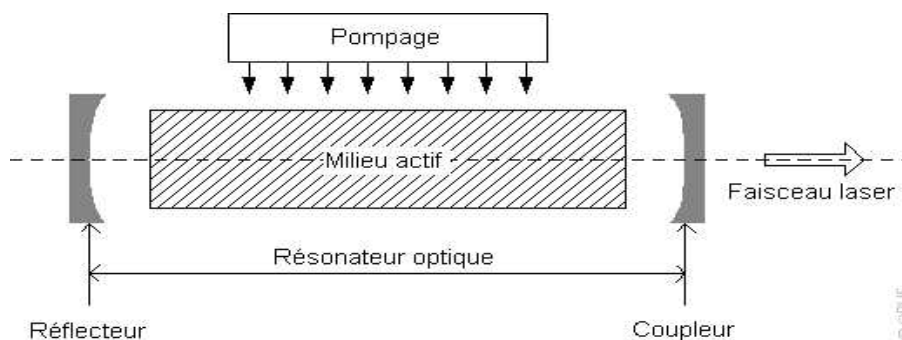


Figure 1.8 : Structure d'une system laser.

La DL se base sur des trois processus fondamentaux pour effectuer la génération de la lumière, que sont:

- ✓ L'absorption (figure 1.9.a) : en absorbant un photon, l'électron peut être amené dans un état plus énergétique. Il passe de l'état lié (électron et trou combinés) à l'état ionisé (électron dans la bande de conduction et trou dans la bande de valence).
- ✓ L'émission spontanée (figure 1.9.b) : de sa propre initiative, l'électron peut tomber dans un état moins énergétique non occupé (il passe d'un état ionisé à un état lié), en émettant un photon spontané.
- ✓ L'émission stimulée (figure 1.9.c) : stimulé par un photon, l'électron peut retomber dans l'état le moins énergétique (état lié) en émettant un photon stimulé dont le rayonnement correspond à la même longueur d'onde, la même phase, le même état de polarisation et la même directivité que le photon incident. L'émission stimulée introduit la notion de gain ou d'amplification du rayonnement incident puisque, à partir d'un photon, on en obtient deux. Pour obtenir l'effet laser et donc rendre l'émission [4].

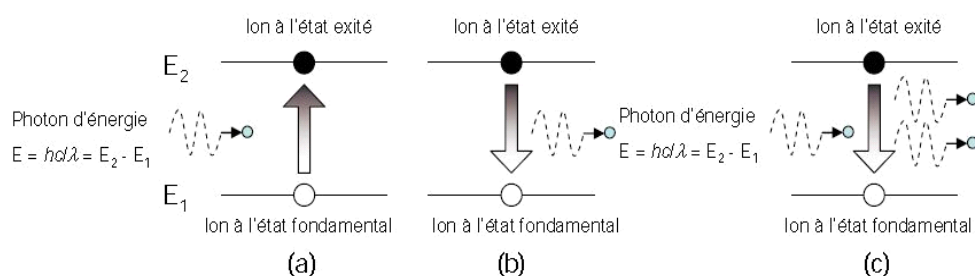


Figure 1.9 : (a) Absorption, (b) émission spontanée et (c) émission stimulée [4].

Le spectre émis de la diode laser se compose de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (figure1.10) [3].

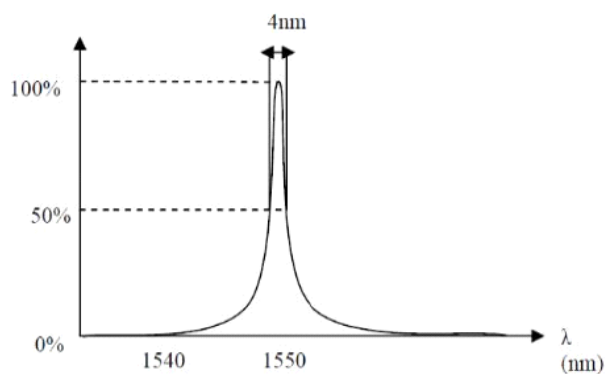


Figure 1.10: Caractéristique spectrale d'une la diode laser.

La (figure 1.11) présente la structure d'une diode laser à l'arséniure de gallium (GaInAsP).

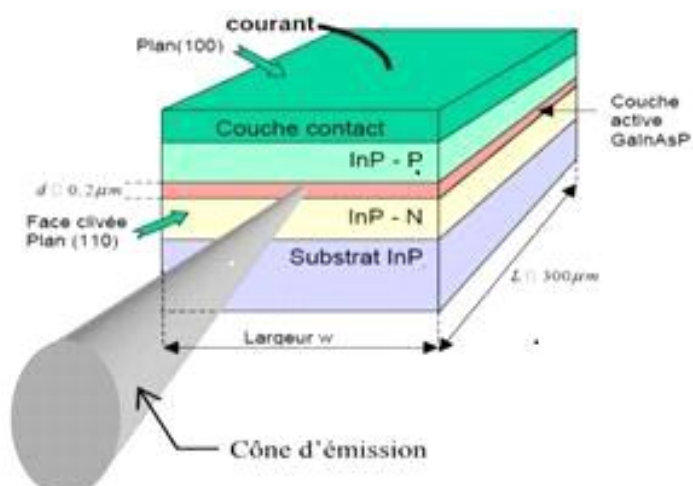


Figure 1.11 : Structure d'une diode laser au GaInAsP.

La couche active est placée entre deux couches de confinement. En injectant du courant, les électrons sont injectés dans la couche active où ils se recombinent radiativement. Dans les diodes laser, l'amplitude du signal électrique appliqué fait varier proportionnellement la puissance optique émise [5].

La différence de fonctionnement entre la diode DL et la diode LED

Pour montrer la différence entre une diode électroluminescente et une diode laser, on a la représentation de la puissance optique de sortie en fonction du courant injecté sur la (figure 1.12) [6].

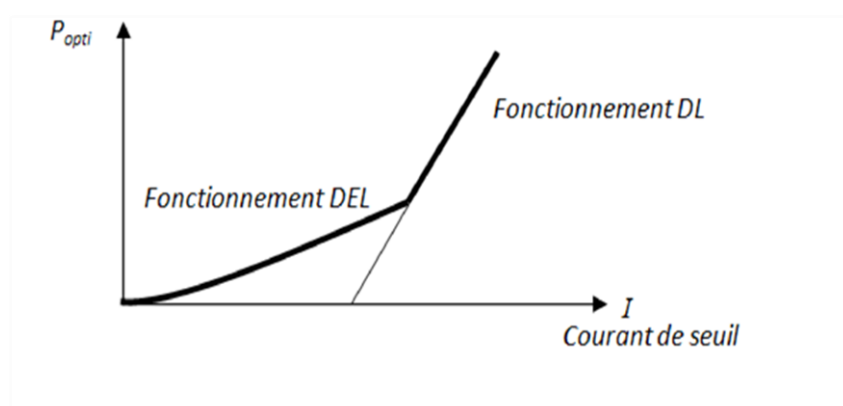


Figure 1.12 : Différence de fonctionnement entre DL et DEL [6].

Le tableau suivant compare les DEL et les lasers en fonction de divers facteurs de comparaison / spécifications :

Puissance dans la fibre optique	0.01 mW	0.5 mW
Largeur du spectre	50 à 200 nm	1 nm
Rapidité de modulation	100 MHz	10 GHz
Durée de vie	100 ans	10 ans
Refroidissement	Non	Oui
Puissance couplée	Modérer	Haute
Bande passante de modulation	Dizaines de KHz à dizaines de MHz	Dizaines de MHz à dizaines de GHz

Tableau 1.1 : Comparaison et spécification des diodes DL et DEL.

II.2 Photodiode

Une photodiode est un semi-conducteur formé par une simple jonction P-N photoréceptrice généralement non amplificatrice mais dans certaines conditions une amplification interne peut se produire, (Figure 1.13).

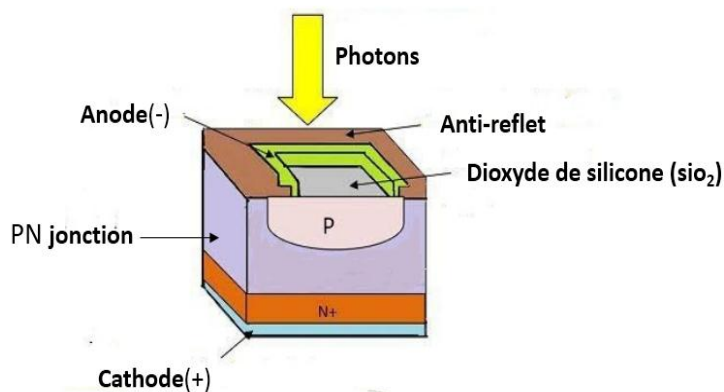


Figure 1.13 : Structure d'une photodiode.

Dans cette configuration il y a apparition de trois zones (ou régions), une zone de charge d'espace (ZCE) et deux régions neutres de type N et P. Lorsque les photons pénètrent dans le semi-conducteur, pourvu qu'ils ont une énergie suffisante, peuvent créer des photoporteurs en excès dans les matériaux. Ces photoporteurs sont des paires d'électrons-trous. Chaque paire créée se traduit par la circulation dans le circuit extérieur d'une charge élémentaire. On observe ainsi une augmentation du courant.

II.2.2 Photodiode PIN (Positive Intrinsic Negative Photodiode)

La photodiode est un composant actif qui génère une tension électrique (effet photovoltaïque) ou un photocourant lorsqu'il est éclairé. La base physique de ce fonctionnement est la jonction PN dans le semi-conducteur silicium. Si les photons sont absorbés avec suffisamment d'énergie dans le détecteur, des porteurs de charge (paires électron-trou) se forment. Ceux-ci sont séparés dans la zone de charge d'espace, ce qui crée le photocourant. La séparation de charge se produit même sans tension appliquée de l'extérieur, mais peut être accélérée par une telle tension de blocage. Le photocourant reste linéaire à la quantité de lumière incidente sur plusieurs ordres de grandeur, si la diode ne fonctionne pas dans un état de saturation [6].

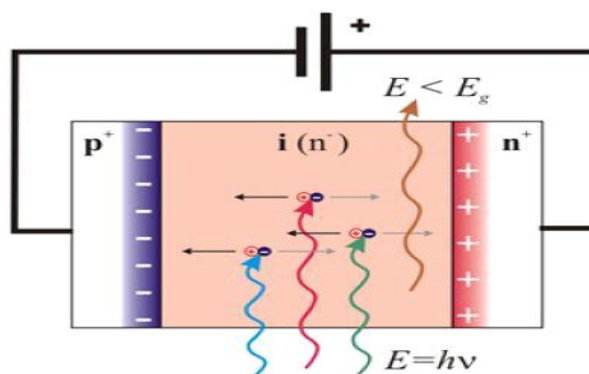


Figure 1.14 : Structure d'une photodiode PIN.

Lorsqu'elle fonctionne comme une diode, une source de tension externe est connectée en série avec le consommateur, ou la tension est appliquée en sens inverse. Ce mode de fonctionnement est idéal pour les applications nécessitant une réponse rapide du signal. L'inconvénient majeur est le courant d'obscurité qui augmente de façon exponentielle avec la température [6].

Le courant établi dans la photodiode PIN est donné par :

$$I_{ph} = i_s + I_{obs} \quad (1.2)$$

Où : $i_s = S \times P$ photo courant proportionnel à la puissance optique P et la sensibilité S.

I_{obs} : Courant d'obscurité, c'est le courant qui circule dans la jonction en absence d'éclairement, il provient à la fois de courants de fuite et de génération thermique, il augmente avec la température et la tension de polarisation.

II.2.3 Photodiode APD (Avalanche Photo Diode)

Les photodiodes à avalanche sont des diodes dotées d'un mécanisme d'amplification interne. Comme pour les diodes standards, les photons génèrent des paires électron-trou, qui subissent alors une telle accélération induite par la tension appliquée de l'extérieur, que des électrons supplémentaires sont introduits dans la bande de conduction par l'ionisation par impact électronique. À leur tour, les électrons supplémentaires absorbent suffisamment d'énergie pour introduire d'autres électrons dans la bande de conduction. Il est ainsi possible d'atteindre un coefficient multiplicateur de plusieurs centaines [5].

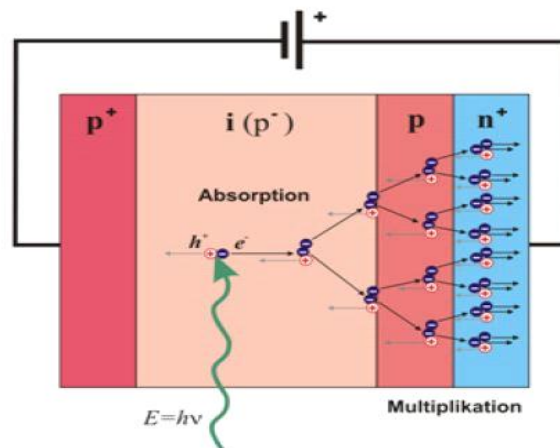


Figure 1.15: Structure d'une photodiode APD.

Les photodiodes à avalanche sont principalement utilisées lorsque le signal optique est très faible. Les applications impliquant des fréquences de modulation élevées utilisent également des APD. Le bruit généré par l'effet d'avalanche à partir de fréquences d'environ 60 MHz est généralement plus faible que le bruit d'une combinaison de photodiodes classiques avec un amplificateur électronique externe [8].

La photo courant ainsi généré dans la photodiode à Avalanche est donné par :

$$i_s = M \times S \times P \tag{1.3}$$

Avec : M : facteur de multiplication, il est donné par :

$$M = \frac{1}{1 - (V - V_B)^{m'}} \tag{1.4}$$

Où : $m' = 3-6$ (selon le matériau).

V : Tension en inverse.

S : Sensibilité;

P : puissance optique.

V_B : Tension de claquage

Les photodiodes à avalanche se différencient dans leurs conceptions par rapport les photodiodes PIN dans une seule chose : une couche supplémentaire est ajoutée dont des paires électron-trous secondaires sont générées sous l'effet de l'ionisation par impact.

Principe de fonctionnement de photodiode

Les photons transmis par la fibre pénètrent dans le détecteur constitué d'un matériau semi-conducteur. Absorbés, ils peuvent provoquer le passage d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction. Dans cette dernière, les électrons moins liés deviennent libres. Le photon a donc laissé place à une paire électron-trou. Une différence de potentiel est appliquée afin d'empêcher les électrons de retomber dans leur état le plus stable. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photo courant. Le nombre de paires électron-trou est égal au nombre de photons absorbé [7].

Caractéristiquement comparatifs des photodiodes PIN et PDA :

Caractéristiques	PIN	APD
Technologie	Simple	Complexe
Mise en œuvre	Simple	Délicate
Gain interne	Non	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	Faible	Elevée
Courant d'obscurité	Faible	Moyen
Facteur d'accès de bruit	Non	Oui

Tableau 1.2 : Tableau comparatif des photodiodes PIN et PDA [8]

II.3. Coupleurs optiques

En optique, un coupleur est un dispositif fibré reliant une ou plusieurs entrées à une ou plusieurs sorties. Il permet par exemple de mélanger deux signaux, de séparer un signal en deux ou bien faire les deux à la fois.

Un coupleur optique (en anglais, *splitter*) est un composant passif qui n'intervient pas sur le contenu du signal lumineux. Son rôle consiste simplement à distribuer la puissance d'une fibre principale vers une ou plusieurs autres fibres ou inversement.

On considère divers types de coupleurs : en X avec deux entrées et deux sorties, en Y avec une entrée et deux sorties ou inversement, en étoile avec n entrées et n ou p sorties, etc. [9].

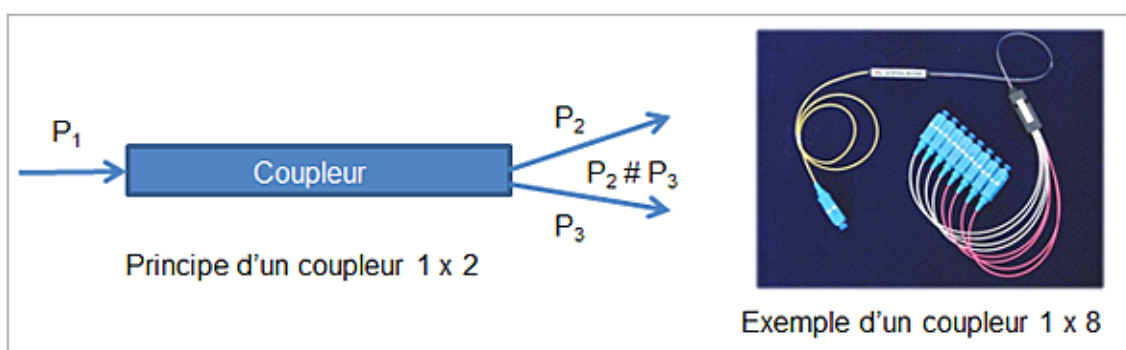


Figure 1.16 : Principe et exemple d'un coupleur optique.

Ce composant peut être fabriqué à partir de N fibres. L'exemple de la figure 1.17 montre N fibres torsadées ensemble, fusionnées puis étirées. D'autres techniques de fabrication existent pour un coupleur $N \times N$. Cependant, le composant le plus répandu sur le marché est le coupleur $N \times N$ formé à partir de coupleurs 2×2 , à abrasion – collage ou à fusion – étirage, mis en cascade, comme le propose l'exemple de la (figure 1.18) [10].



Figure 1.17: Coupleur $N \times N$ fabriqué à partir de N fibres.

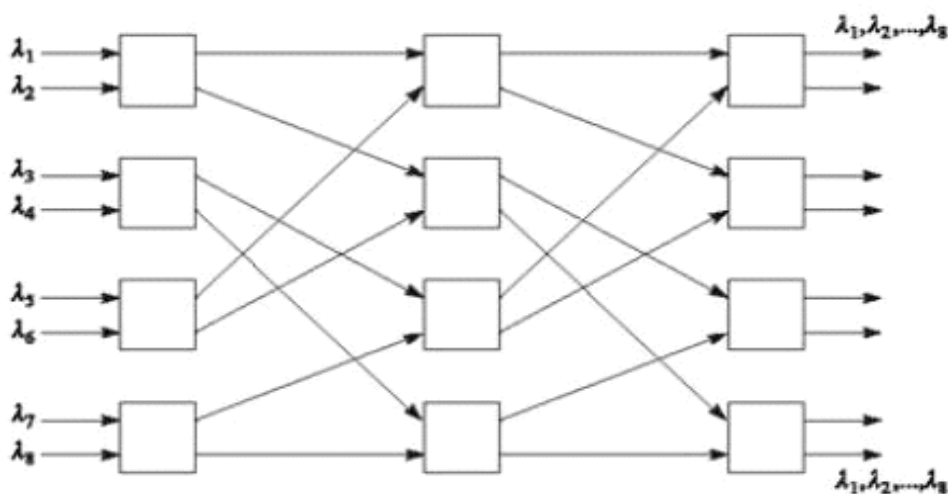


Figure 1.18: Coupleur N×N fabriqué à partir de la mise en cascade de coupleurs 2×2

Le principal champ d'action aujourd'hui concerne les coupleurs "en étoile" qui, dans le cadre des réseaux optiques passifs, vont desservir plusieurs dizaines d'abonnés aux services FTTH.

II.4 Switch optique

Un commutateur optique est un appareil qui commute sélectivement les signaux optiques d'un canal à un autre. La commutation peut être temporelle ou spatiale. Le premier est appelé commutateur optique (dans le domaine temporel) ou modulateur optique, tandis que le second est appelé commutateur spatial optique ou routeur optique. En général, les modulateurs optiques et les routeurs peuvent être fabriqués les uns à partir des autres [11].

II.4.1 Fonctionnement

Un commutateur optique est un pont réseau multiport, ainsi il permet de connecter plusieurs fibres optiques les unes aux autres et contrôle le routage des paquets de données entre les entrées et les sorties. Certains commutateurs optiques convertissent la lumière en données électriques avant de la transmettre et de la convertir à nouveau en un signal lumineux. D'autres commutateurs optiques, appelés All-Optical, peuvent acheminer et transmettre eux-mêmes les impulsions lumineuses sans aucune conversion électrique [12].

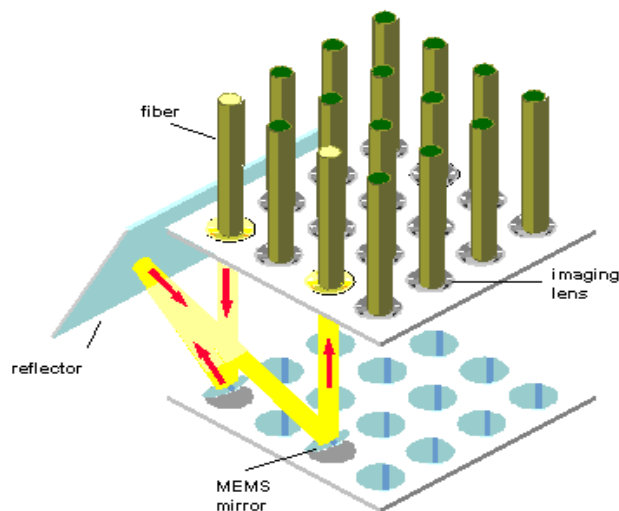


Figure 1.19 : Structure d'une Commutateurs system micro électromécanique(MEMS).

II.4.1.1. Les Commutateurs MEMS

1. Commutateurs MEMS 2D

Les miroirs sont disposés dans une barre transversale configuration. Ils peuvent être soit à La position ON pour réfléchir la lumière ou La position OFF pour laisser passer la lumière Ininterrompu. Et NxN-port commutateur, un total de N^2 miroirs requis pour strictement non bloquant La matrice de commutation [13].

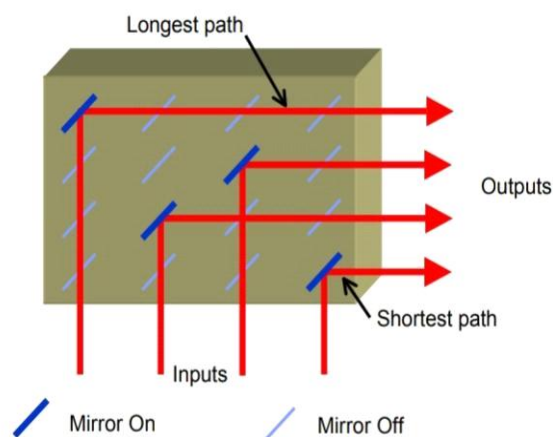


Figure 1.20 : Stucateur d'une Commutateurs MEMS 2D.

2. Commutateurs MEMS 3D :

Sorcière à des miroirs qui peuvent Tournez sur deux axes. La lumière peut être Redirigée dans l'espace vers plusieurs angles. Cette approche se traduit par N Ou 2N miroirs (2N miroirs offrent moins de pertes par insertion) [13].

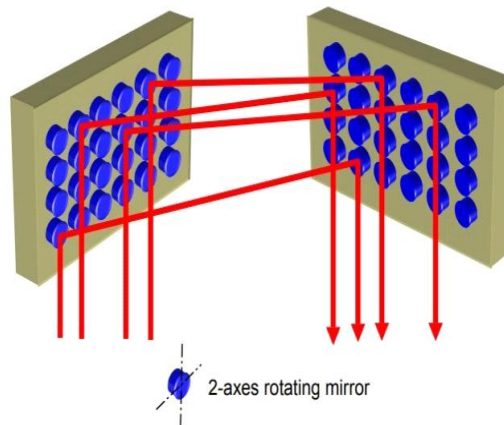


Figure 1.21 : Structure d'une Commutateurs MEMS 2D.

II.4.2. Applications

- ✓ Protection et reconfiguration du réseau (temps de commutation requis ~5 ms)
- ✓ Tous les réseaux optiques –Commutation de circuit (réseaux WDM, OADM's,OXC's)
- ✓ Tous les réseaux optiques –Commutation de paquets (temps de commutation requis ~1ms) [13].

II.4.3. Avantages de l'utilisation de silicium pour micro-optique Composant [13].

- ❖ La surface de silicium lorsqu'elle est traitée correctement peut fournir une optique surface de très haute qualité (plate et sans dispersion).
- ❖ Les excellentes propriétés mécaniques du silicium monocristallin permettre la fabrication de dispositifs sans fatigue. depuis le silicium monocristallin a pas de luxation, il n'a pratiquement pas de fatigue et c'est un parfait élastique matériel une propriété extrêmement souhaitable pour la précision applications mécaniques.
- ❖ Les propriétés électriques du silicium permettent l'intégration de capteurs et détecteurs avec une grande précision.
- ❖ Le silicium est totalement transparent aux longueurs d'onde utilisées dans l'optique communication.

- ❖ La fabrication lithographique par lots de ces dispositifs, entraînés et rendu possible par la technologie IC existante, fournit une méthode de fabrication peu coûteuse.

- **Conclusion**

Ce chapitre a été consacré à la définition des différents composants d'une liaison par fibre optique : émetteur, récepteur, coupleur et Switch optique.

Dans le chapitre suivant nous allons étudier la technologie de multiplexage optique ainsi que les différents systèmes et application.



Chapitre II : Multiplexage optique

- **Introduction**

Le multiplexage est le processus de combinaison de plusieurs signaux dans un canal partagé utilisé pour exploiter tout le potentiel des liaisons optiques. Historiquement, le multiplexage avait été utilisé pour partager la bande passante limitée du support entre différents émetteurs, mais avec les systèmes optiques, il s'agit d'avantage de tirer pleinement parti de l'énorme bande passante disponible.

L'avènement des liaisons optiques cohérentes et des techniques de multiplexage avancées utilisées dans les communications sans fil a augmenté la limite de bande passante réalisable des liaisons par fibres optiques.

Le chapitre proposé se concentre sur l'une des techniques de multiplexage les plus courantes et les plus importantes, le multiplexage par division en longueur d'onde.

Pour ce chapitre, En premier lieu on va décrire la technique de multiplexage en optique et son fonctionnement, puis on va définir la technique AWG et la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM, ces apports en décrivant ces moteurs technologiques s'évolution et comment elles sont appliquées. Enfin, on va définir le réseau de Bragg.

- **Technique de multiplexage optique**

Avec les composants optiques mûrissant et devenant très fiables et précis, presque toutes les techniques de multiplexage possibles dans les communications sans fil sont viables en optique maintenant. Bien que quelques-uns soient vraiment développés, les autres devraient mûrir dans un proche avenir. Quelques-unes de ces techniques sont présentées ici.

II.1. AWG (Array Wave Guide)

Les réseaux de guides d'ondes matricés (AWG) sont couramment utilisés comme (dé) multiplexeurs optiques dans les systèmes à multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM). Ces dispositifs sont capables de multiplexer de nombreuses longueurs d'onde dans une seule fibre optique, augmentant ainsi considérablement la capacité de transmission des réseaux optiques [13].

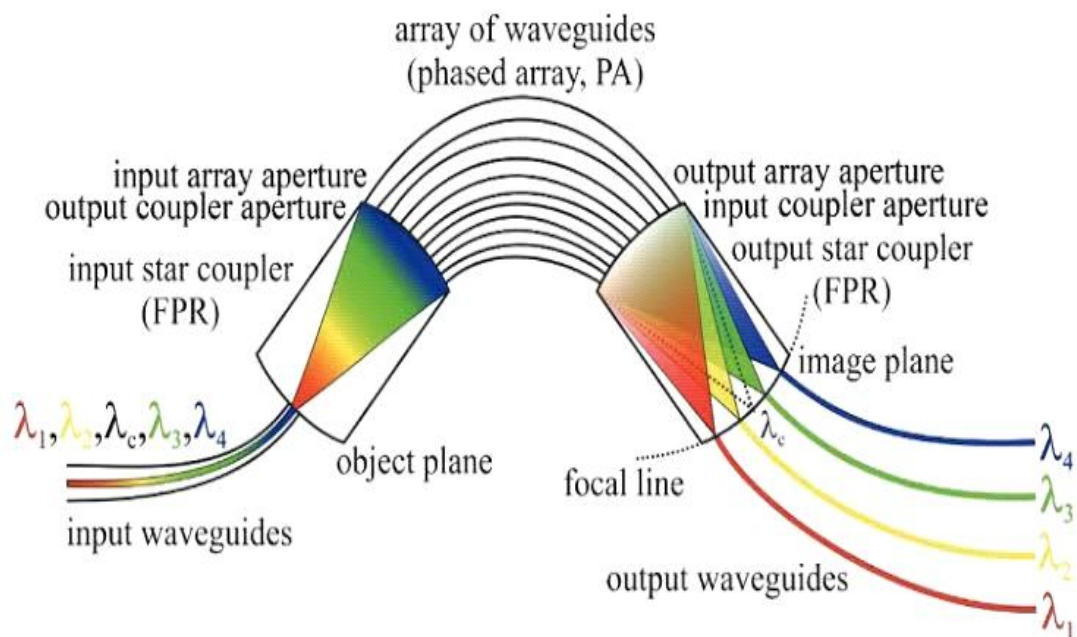


Figure 2.1: structure d'une AWG.

Les dispositifs sont basés sur un principe fondamental de l'optique selon lequel les ondes lumineuses de différentes longueurs d'onde n'interfèrent pas linéairement les unes avec les autres. Cela signifie que, si chaque canal d'un réseau de communication optique utilise de la lumière d'une longueur d'onde légèrement différente, alors la lumière provenant de plusieurs de ces canaux peut être transportée par une seule fibre optique avec une diaphonie négligeable entre les canaux. Les AWG sont utilisés pour multiplexer des canaux de plusieurs longueurs d'onde sur une seule fibre optique à l'extrémité de transmission et sont également utilisés comme démultiplexeurs pour récupérer des canaux individuels de différentes longueurs d'onde à l'extrémité de réception d'un réseau de communication optique [14].

II.1.1. Fonctionnement AWG

à lumière entrante (1) traverse un espace libre (2) et pénètre les canaux des guides d'ondes (3). Les fibres ont des longueurs différentes et appliquent donc un déphasage différent à la sortie des fibres. La lumière traverse alors un autre espace libre (4) et interfère aux entrées des guides d'ondes de sortie (5) de telle sorte que chaque canal de sortie ne reçoit que de la lumière d'une certaine longueur d'onde.

Les lignes orange illustrent uniquement le trajet de la lumière. Le trajet lumineux de (1) à (5) est un démultiplexeur, de (5) à (1) un multiplexeur [14].

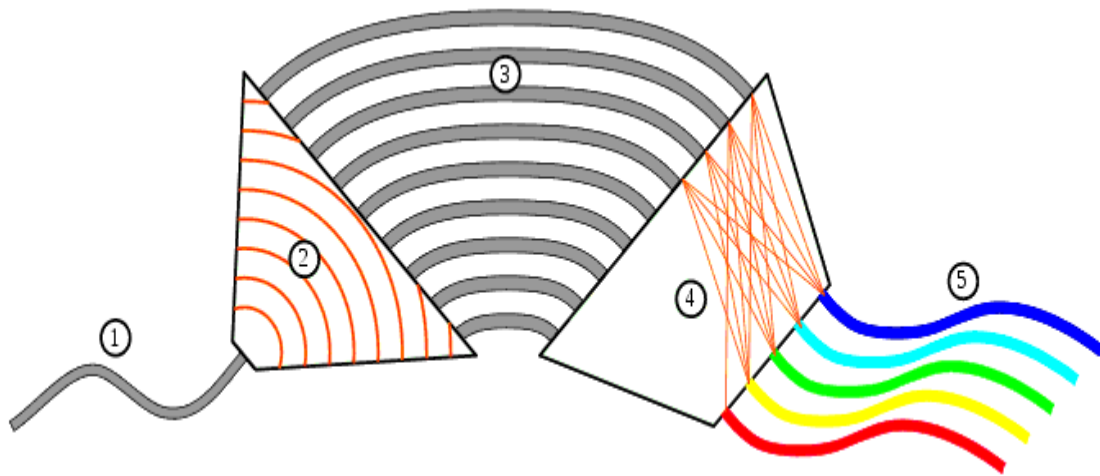


Figure 2.2: Fonctionnement des appareils AWG [14].

Les AWG peuvent être réalisés avec différents systèmes de matériaux, par ex. à base de silice (SiO_2), de phosphore d'indium (InP) ou de silicium (Si) [15].

II.2. WDM (Wavelength-Division Multiplexing)

Le multiplexage en longueur d'ondes (Wavelength Division Multiplexing, WDM) est la technologie la plus utilisée dans les réseaux optiques actuels. L'efficacité de cette technologie fait le succès des réseaux optiques dans les réseaux de télécommunications [16].

II.2.1. rôle et principe de fonctionnement de WDM

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. Le WDM consiste à diviser le spectre optique en plusieurs sous canaux, chaque sous-canal étant associé à une longueur d'onde. La fibre optique se prête bien à ce type d'usage car sa bande passante est très élevée : de l'ordre de 25,000 GHz. Elle présente donc un fort potentiel au multiplexage de très nombreux canaux sur de longues distances [17].

Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur.

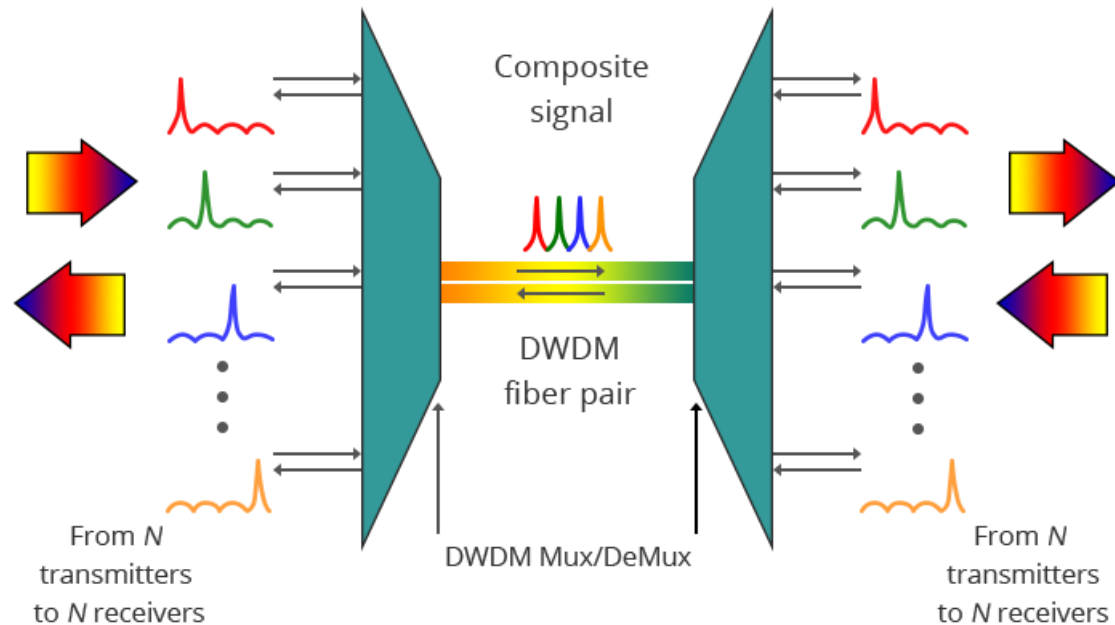


Figure 2.3: Schéma de principe du multiplexage en longueur d'onde.

Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Étant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroné l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger de changer la longueur d'onde d'un de des deux signaux.

Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal.

Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'ondes données. Il a donc connaissance des longueurs d'ondes qui circulent dans le lien

optique. Le démultiplexeur va donc pouvoir récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé.

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

La norme ITU-T G 692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm (la bande C).

On peut calculer l'espacement entre les longueurs d'ondes selon la formule suivante :

$$v = \frac{c}{\lambda} \rightarrow \Delta v = \frac{c}{\lambda^2} \cdot \Delta \lambda \rightarrow \Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \cdot \Delta v \quad (2.1)$$

Ou :

C : la vitesse de la lumière

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

Δv : L'espacement entre les canaux.

La technique WDM est basé sur deux mécanismes, il s'agit de la diffraction et de l'interférence des signaux luminance pour séparer et combiner les longueurs d'onde exactement comme le principe de foncièrement d'un prisme voir la figure suivant.

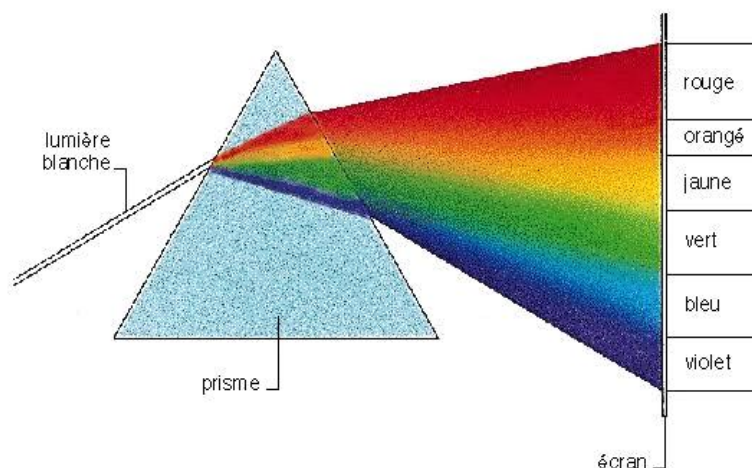


Figure 2.4 : fonctionnement d'un prisme.

II.2.2. Modes de transmission de WDM

Il existe deux type de transmission de WDM sont :

1. Transmission unidirectionnelle

Transmission unidirectionnelle est dite monodirectionnelle lorsque les différentes longueurs d'onde se propagent dans un seul sens de la fibre comme montre la figure ci-dessous

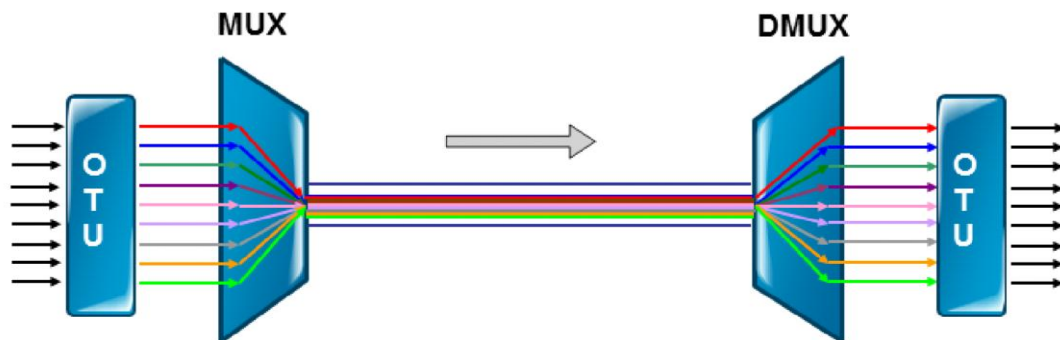


Figure 2.5 : Transmission unidirectionnelle.

Le système WDM unidirectionnelle adopte deux fibres optiques, un implémente que la transmission de signaux dans un sens, et l'autre met en œuvre la transmission des signaux dans la direction opposée, Largement utilisé dans le monde entier [17,18].

2. Transmission bidirectionnelle

Un système est dite bidirectionnel lorsque la fibre de liaison transmet des différentes longueurs d'onde dans les deux sens comme représenté la figure suivant :

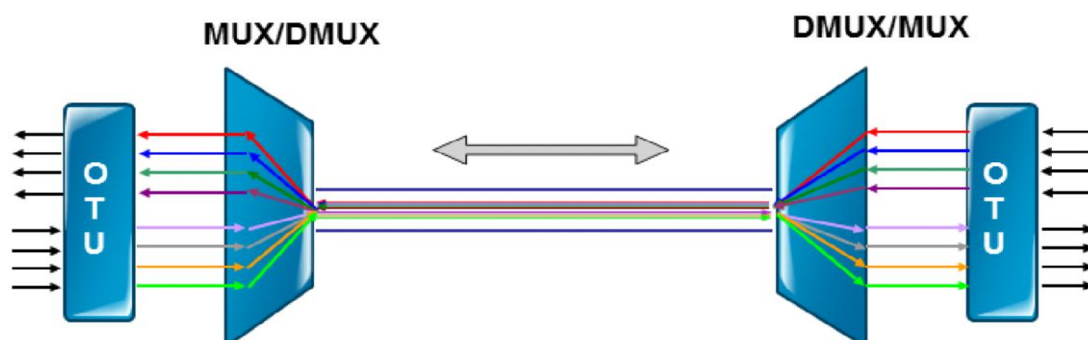


Figure 2.6 : Transmission bidirectionnelle.

Actuellement, les systèmes de liaisons optiques bidirectionnelles sont utilisés dans de nombreux domaines comme par exemple la télématique, les transmissions téléphoniques ou les

réseaux de télédistribution dans lesquels une station centrale communique avec des stations périphériques constituées par des appareils d'émission-réception d'abonnés [19].

II.2.3. Différents composants d'un système WDM

1. Les multiplexeurs/démultiplexeurs (MUX/DMUX)

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

2. Multiplexeur optique à insertion et extraction (Optical Add /Drop MuX):

✚ Voir 3^{ème} chapitre [III.1 Définition].

3. OXC :

✚ Voir 3^{ème} chapitre [III.1.1.3. brasseur optique (OXC)].

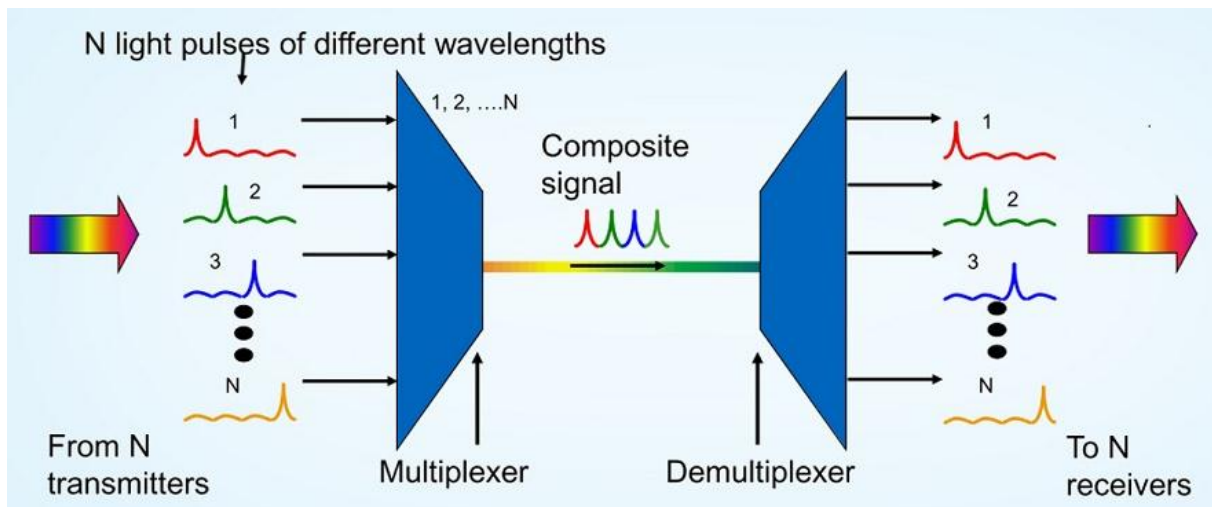


Figure 2.7 : Les différents composants d'un système WDM.

4. Amplificateur optique (OA)

La distance de propagation d'un signal sur une fibre optique est limitée par l'atténuation et la dispersion. On utilise les amplificateurs optiques dans les liaisons à longue distance, ils remplacent les plus anciennes génératrices optoélectroniques afin de créer des liaisons

transparentes permettant notamment le multiplexage en longueur d'onde. Ils peuvent aussi être utilisés comme booster en amont, servant à augmenter la puissance de l'émetteur afin de pouvoir distribuer sur un plus grand nombre de fibres optiques [20].

5. Optique électrique optique (OEO) : C'est un dispositif qui permet la conversion des signaux luminances (photon) à des signaux électrique (électron) et l'envers.

6. Commutateurs de longueur d'onde (SW)

✚ Voir 2^{ème} chapitre [II.4 Switch optique].

II.2.4. Avantages et inconvénients du WDM

1. Avantages du WDM [21]

- ✓ Une transmission en duplex intégral est possible.
- ✓ Plus facile à reconfigurer.
- ✓ Les composants optiques sont similaires et plus fiables.
- ✓ Il fournit une bande passante plus élevée.
- ✓ Cela pourrait être la meilleure approche car elle est simple à mettre en œuvre.
- ✓ Haute sécurité
- ✓ L'un des principaux avantages de l'utilisation de la technologie WDM est de réduire le nombre de fibres utilisées dans la principale ligne de transmission. ainsi augmenter le débit et la distance de transmission [22].

2. inconvénients du WDM [21]

- ✓ Les signaux ne peuvent pas être très proches.
- ✓ Les ondes lumineuses transportant WDM sont limitées à un circuit à 2 points.
- ✓ Le coût du système augmente avec l'ajout de composants optiques.
- ✓ L'évolutivité est un problème car l'OLT (Optical Line Termination) doit avoir un réseau d'émetteurs avec un émetteur pour chaque ONU (Optical Network Unit). L'ajout d'une nouvelle ONU pourrait poser problème à moins que les émetteurs ne soient fournis à l'avance. Chaque ONU doit avoir un laser spécifique à la longueur d'onde.

II.2.5. DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde dense (DWDM) est une technologie de multiplexage optique utilisée pour augmenter la bande passante sur les réseaux de fibre optique existants.

La technologie WDM est dite dense lorsque l'espacement utilise entre deux longueurs d'onde est égal ou inférieur à 100 GHz. La technologie DWDM présente cependant des coûts assez élevés, On l'emploie désormais pour les transmissions longues distance. Dans la pratique, cela signifie que l'on fait passer dans une même fibre beaucoup de signaux portés par des fréquences très rapprochées les unes des autres [23].

Deux applications évidentes sont déjà utilisées : les câbles sous-marins et l'allongement de la durée de vie des câbles là où toutes les fibres sont utilisées. Pour les câbles sous-marins, DWDM améliore la capacité sans ajouter de fibres, ce qui crée des câbles plus gros et des répéteurs plus encombrants et plus compliqués. L'ajout de service dans les zones où les câbles sont maintenant pleins est une autre bonne application.

Mais cette technologie peut aussi réduire le coût de toutes les liaisons de communications interurbaines terrestres et les nouvelles technologies peuvent conduire à de nouvelles architectures de réseaux [6].

II.2.5.1. Avantages et Inconvénients de DWDM [24]

1. Les avantages

- ✓ Idéal pour une utilisation sur de longues distances et dans des zones à haute densité de clients.
- ✓ Jusqu'à 32 canaux peuvent être effectués passivement (sans d'énergie).
- ✓ Jusqu'à 160 canaux avec solution active (avec d'énergie).
- ✓ Les solutions actives incluent des amplificateurs optiques d'EDFA pour réaliser de plus longues distances.

2. Les Inconvénients

- ✓ Les solutions DWDM sont chères.

- ✓ Les solutions DWDM actives nécessitent beaucoup de frais d'installation et de maintenance.
- ✓ Manque d'évolutivité des déploiements dans 32 canaux, beaucoup de coûts inutiles par canal sont encouru.

II.2.6. CWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

Le multiplexage par répartition en longueur d'onde grossière (Coarse WDM) est une technologie de multiplexage en longueur d'onde pour les réseaux urbains et d'accès.

Les systèmes WDM grossiers ont d'abord été développés avec seulement 2-3 longueurs d'onde largement espacées, pour les réseaux qui nécessitent une solution peu coûteuse pour la communication bidirectionnelle sur une seule fibre, comme certains types de télévision par câble. Par la suite, des systèmes CWDM avec 4,8 ou 16 canaux ont été développés pour être utilisés dans de petits réseaux et en complément de schémas de multiplexage en longueur d'onde plus denses.

Cette approche a également été utilisée dans les émetteurs-récepteurs optiques pour obtenir des débits de données plus élevés à 2,5 Gbit/s chacun pour atteindre un agrégat de 10 Gbit/s sur une seule fibre.

En raison des caractéristiques techniques du CWDM, le CWDM s'applique principalement dans les deux grands domaines : métro et réseau d'accès. Il y a toujours deux fonctions. Une fonction consiste à utiliser chaque canal optique pour transmettre un signal d'entrée distinct à un débit individuel. Et un autre est d'utiliser le CWDM pour décomposer un signal à grande vitesse en composantes plus lentes qui peuvent être transmises de façon plus économique [25].

II.2.6.1. Avantages et Inconvénients de CWDM [24]

1. Les avantages

- ✓ Sécurité de l'équipement qui n'utilise pas d'énergie électrique.
- ✓ Aucune configuration nécessaire, coût beaucoup plus bas par canal que DWDM.
- ✓ Évolutivité pour augmenter la capacité de la fibre au besoin.
- ✓ Avec peu ou pas d'augmentation des coûts.
- ✓ Protocole transparent et facilité d'utilisation.

2. Les Inconvénients :

- ✓ canaux peuvent ne pas être assez, et amplificateur à fibre ne peut pas être utilisé avec elle.
- ✓ Équipement passif qui n'a pas de capacités de gestion.
- ✓ Pas le choix idéal pour le réseau longue distance.

II.2.7. Différence entre DWDM et CWDM

Les équipements DWDM possèdent des optiques plus précises que le CWDM, et peuvent donc atteindre de plus longues distances pour un débit équivalent ou supérieur.

De plus, la bande de fréquence du DWDM permet de rajouter des amplificateurs (appelés EDFA pour Erbium Doped Fiber Amplificateur) sur le lien fibre optique, si nécessaire.

Pour simplifier, on peut dire que le CWDM convient pour une distance inférieure à 40km à 1Gb/s, tandis que le DWDM est capable d'atteindre 80km à 10Gb/s, et même plus avec l'ajout d'amplificateurs tous les 80 km [16].

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, le CWDM a été développé après le DWDM, justement pour proposer une solution plus économique

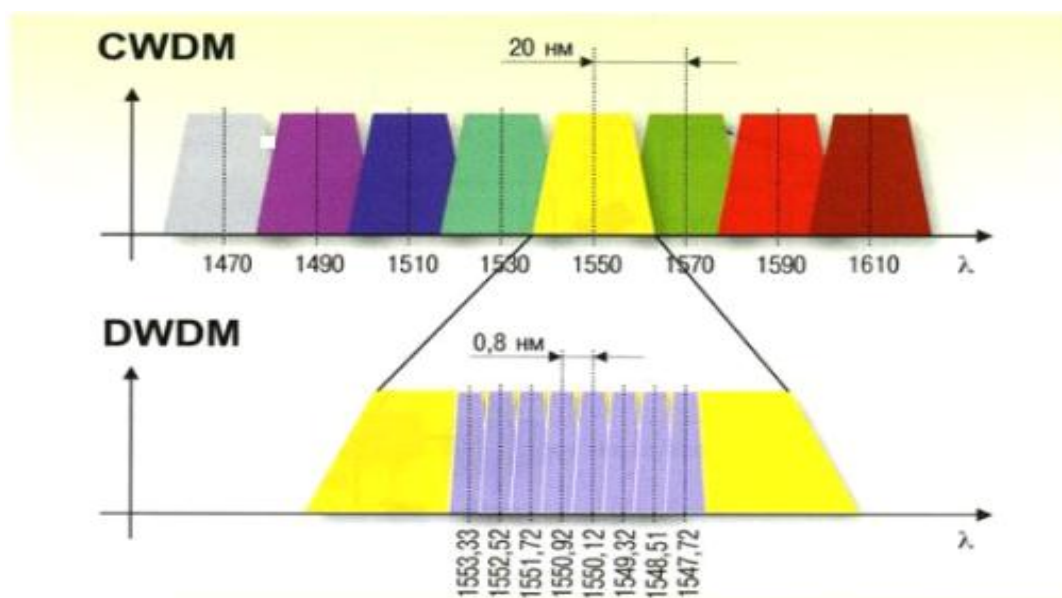


Figure 2.8: Les longueurs d'onde utilisées pour CWDM et DWDM [16].

Comparaison Entre CWDM et DWDM

La comparaison entre les technologies CWDM et DWDM est illustrée dans le tableau suivant :

Types	CWDM	DWDM
Espacement des canaux	20 nm (fixé)	100 GHz /50 GHz /25 GHz
Bande	1311 nm – 1611 nm (toute la bande)	La bande C : 1529 nm-1561 nm La bande L : 1570nm-1603nm
Capacité (max)	18 x2.5 Gbps	192 x 10 Gbps
Laser	Laser non refroidi	Laser refroidi
Amplification	Pas Possible	Possible
Application	100 Km (max)	5000 Km

Tableau 2.1 : Comparaison CWDM et DWDM [26].

Comparaison entre les techniques de multiplexage

Le tableau suivant résume la différence entre les systèmes de multiplexage WDM, CWDM, DWDM et UDWDM :

Type de multiplexage	Espacement intercanaux en (nm)	Nombre de canaux	Bande de signaux en (nm)
WDM	8	32	1530 - 1565
CWDM	20	8 - 18	1270 - 1610
DWDM	0.8	80 - 160	1525 - 1565
UDWDM	0.4	400	1675 - 1625

Tableau 2.2 : Comparaison entre les techniques de multiplexage (WDM, DWDM, UDWDM, CWDM) [8].

II.3. Réseaux de Bragg

Un réseau de Bragg est une modification permanente de l'indice de réfraction photo induite par exposition de la fibre optique à un faisceau laser ultraviolet. Une modulation périodique de

l'indice crée un réseau de phase permettant un couplage de l'énergie de certains modes vers d'autres modes de propagation [27].

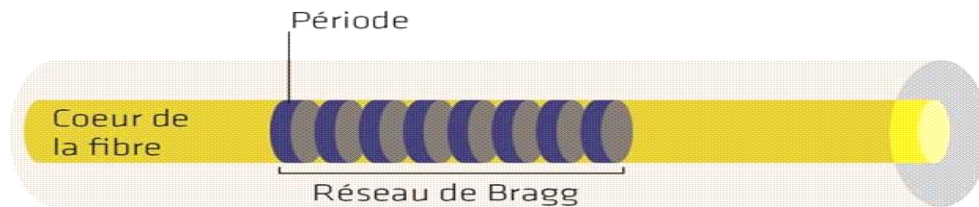


Figure 2.9: Structure d'un réseau de Bragg.

Une petite quantité de lumière incidente est réfléchiée à chaque changement périodique de l'indice de réfraction. La totalité des ondes lumineuses réfléchies sont combinées dans une large gamme de réflexion, à une longueur d'onde particulière, lorsqu'un très fort mode de couplage se présente ; c'est la condition de Bragg. La longueur d'onde à laquelle la réflexion ait lieu est appelée 'la longueur d'onde de Bragg'. Seulement les longueurs d'onde qui satisfont la condition de Bragg sont fortement réfléchies. La réflectivité de la lumière entrante atteint un pic à la longueur de Bragg. Ces réseaux sont transparents pour une lumière entrante correspondant à des longueurs d'ondes autres que celles de Bragg, lorsqu'un déphasage, entre les faisceaux incidents et réfléchies, se présente [28].

La longueur d'onde Bragg λ_B est donnée par:

$$\lambda_{Bragg} = 2 \cdot n_{eff} \cdot \Lambda \quad (2.2)$$

Où : n_{eff} est l'indice de réfraction effectif et Λ est la période de réseau. Ceci est la condition de résonance de Bragg. A partir de l'équation (2.2), on remarque que la longueur d'onde de Bragg dépend de l'indice de réfraction et de la période de réseau.

Parmi les propriétés de ce réseau ; c'est qu'il permet de compresser une impulsion déformée, comme il est montré sur la figure 2.10.

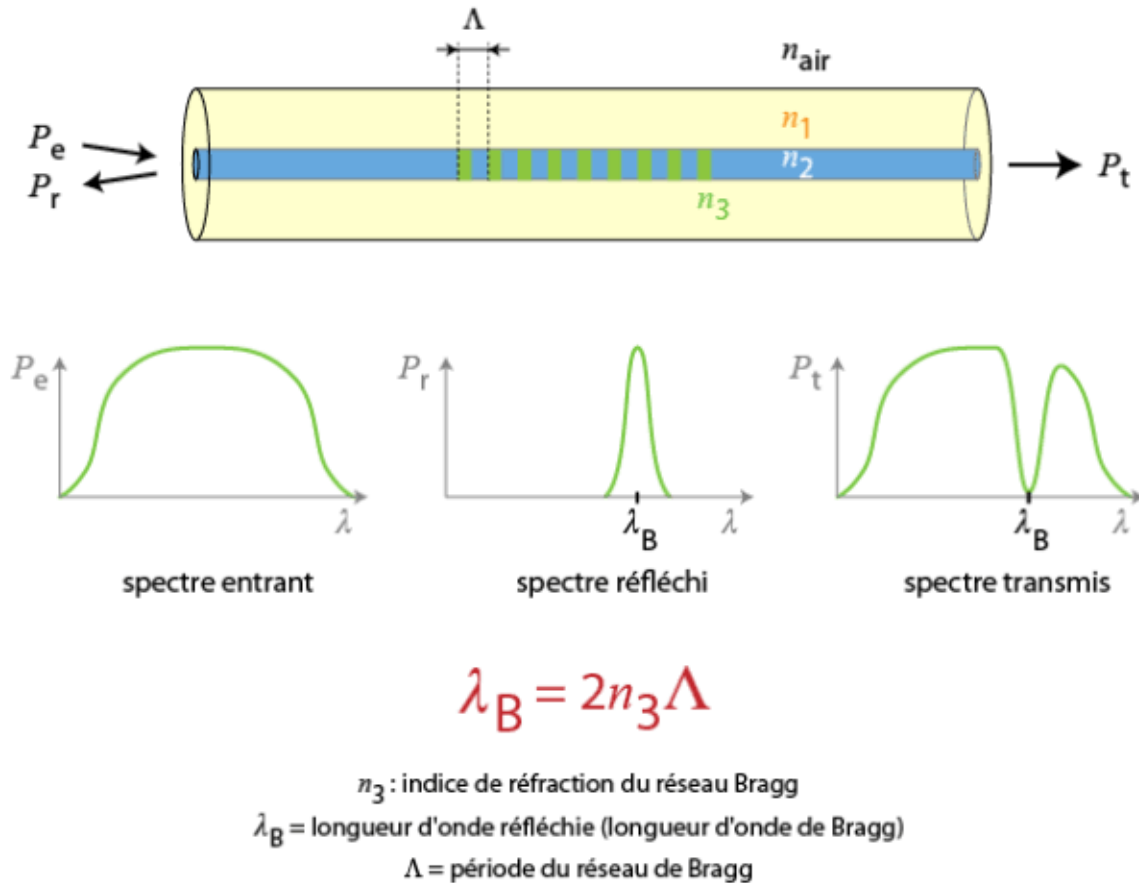


Figure 2.10 : Schéma illustrant les propriétés d'un réseau de Bragg [29].

La fibre de Bragg a comme avantages : simple structure, pertes d'insertion réduites, sélectivité spectrale large, insensibilité à la polarisation et l'adaptation complète avec les différentes fibres monomodes de communications [27].

II.3.1 Réflectivité

Un réseau de Bragg est un filtre travaillant en réflexion. Suivant l'application, ces réseaux peuvent avoir des bandes inférieures à 0.1 nm, comme on peut avoir un filtre large bande de 10 nm. La réflectivité à la longueur de Bragg peut être conçue inférieure à 1%, comme elle peut être supérieure à 90%. Les caractéristiques d'une fibre de Bragg ; comme la dispersion, le contrôle de la largeur de bande sont utilisées actuellement dans les systèmes de communication optiques [27].

La bande passante $\Delta\nu_0$ de la bande de coupure peut être calculée ainsi :

$$\Delta\nu_0 = \frac{4\nu_0}{\pi} \arcsin\left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1}\right) \quad (2.3)$$

Ou ν_0 est la fréquence centrale de la bande.

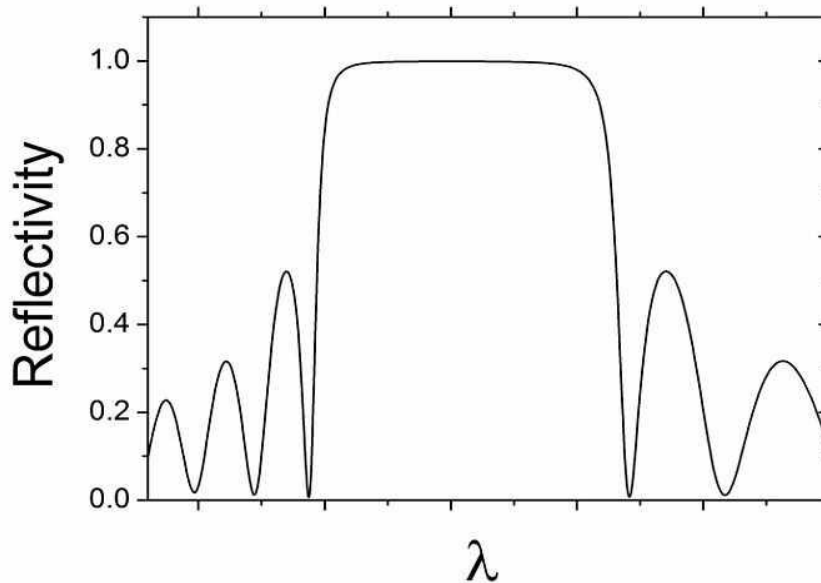


Figure 2.11: Réflectivité dans un réseau de Bragg.

Ainsi, augmenter le nombre de couples de couches d'un réseau de Bragg augmente la réflectivité du miroir, et augmenter la différence d'indice de réfraction entre les deux matériaux augmente à la fois la réflectivité et la bande passante [30].

- **Conclusion**

L'AWG est une technique en fibre optique utilisée dans les systèmes WDM, permet d'étendre la capacité du réseau avec une seule fibre optique, il est également de plus en plus utilisé dans d'autres domaines parmi eux le traitement des signaux.

Les techniques de multiplexage WDM, DWDM sont basées sur le même concept, l'utilisation de plusieurs longueurs d'onde de la lumière sur une seule fibre, mais avec différents espacements inter-canaux, nombre de canaux et capacité d'amplification des signaux optiques multiplexés.

Les réseaux de Bragg trouvent beaucoup d'application dans les systèmes de communications optiques, notamment dans les systèmes multiplexés en longueur d'onde (WDM) et dans les modules de compensation de la dispersion chromatique.

A green ribbon graphic with a black outline, featuring a central rectangular section and two pointed ends. The text is centered within the central section.

Chapitre III : Routeur optique

- **Introduction [31]**

La technologie de fibre optique est basée sur le principe de la transmission de données à la vitesse de la lumière. Il utilise également des technologies de commutation optique pour fonctionner. Et il a la capacité de fournir IP à la vitesse de la lumière.

Le routeur optique a de nombreuses caractéristiques qui le rendent distinct des autres de son genre. Son objectif principal est de livrer les colis prévus à leur destination. Est également considéré comme plus compétitif que les routeurs normaux. Il a également plusieurs ports d'entrée et de sortie. Il est équipé d'un certain nombre d'émetteurs. Un contrôleur de polarisation est installé entre l'ensemble des émetteurs et la multiplicité des ports d'entrée. Il est également équipé d'une horloge qui aide à transmettre des signaux au port.

Les routeurs optiques hauts débit aident Les fournisseurs de services internet à répondre aux besoins de leurs clients, car ils leur permettent d'offrir de nombreux services à valeur ajoutée. Il peut aider à fournir des services tels que les chats vidéo, la santé, les applications Internet et la société. Certains routeurs optiques fonctionnent si bien qu'ils peuvent fournir une vitesse allant jusqu'à 256 Gbps. De plus, le routeur optique peut transmettre 30 millions de trames ou de paquets par seconde. Ces routeurs fonctionnent sur le principe des longueurs d'onde optiques qui servent de technologie de travail pour les routeurs de nouvelle génération. Capable de fournir une productivité très rapide. Fournit à faible latence. Il effectue un routage rapide et est capable d'offrir des activités de multidiffusion. Il est capable de communiquer avec les réseaux de commutation de circuits modernes. L'utilisation de routeurs optiques peut également gagner du temps pour la conversion optique à électrique, puis à nouveau pour la conversion optique. Les paquets de données sont ensuite transférés vers les bonnes destinations en un rien de temps.

III.1. Multiplexeur à Insertion/Extraction optique (OADM)

III.1.1. Définition

Les OADM couplés avec la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM offrent l'avantage de rallier rapidité et efficacité dans la manipulation des flux optiques. Sans les OADM, on aurait eu besoin de placer un nœud à chaque site où on envisagerait d'extraire ou d'introduire un signal dans le flux, ce qui mobiliserait à l'évidence plus d'investissement [32].

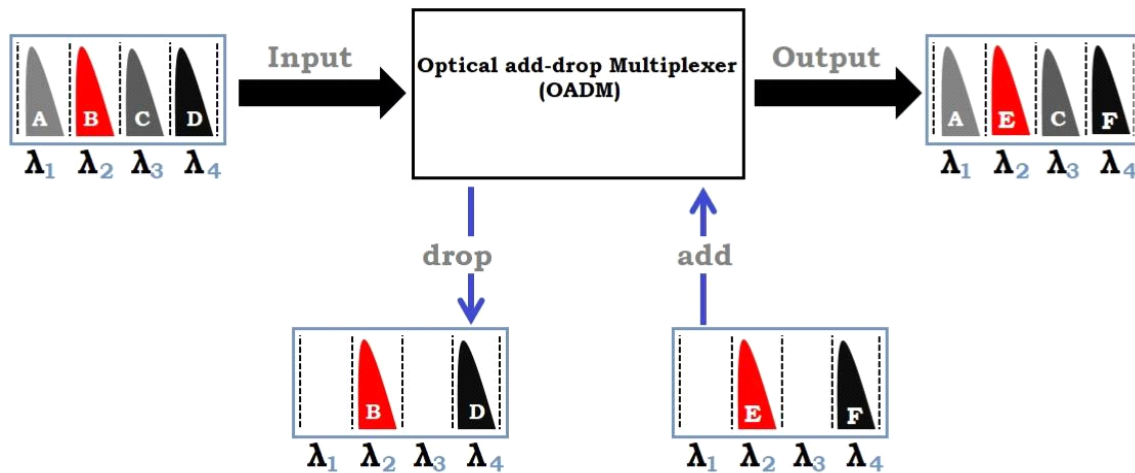


Figure 3.1 : principe d'un OADM.

III.1.1.1. Structure d'OADM

Un OADM se compose des trois composants suivants:

- ✓ Un multiplexeur optique
- ✓ Un démultiplexeur optique
- ✓ Une méthode de reconfiguration entre les deux

Le démultiplexeur optique est positionné à l'extrémité de réception du côté d'entrée. Le démultiplexeur reçoit différentes longueurs d'onde à travers la fibre d'entrée et effectue une ségrégation pour transmettre des longueurs d'onde séparées

Sur des ports. La reconfiguration peut être réalisée par des commutateurs optiques ou par un tableau de connexions de fibre qui dirige les longueurs d'onde aux ports de baisse ou au multiplexeur. Le multiplexeur est déployé du côté de sortie pendant qu'il multiplexe les canaux de longueurs d'onde des ports d'ajout avec ceux provenant des ports de dés-multiplexeur, sur une fibre de sortie unique [33].

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.

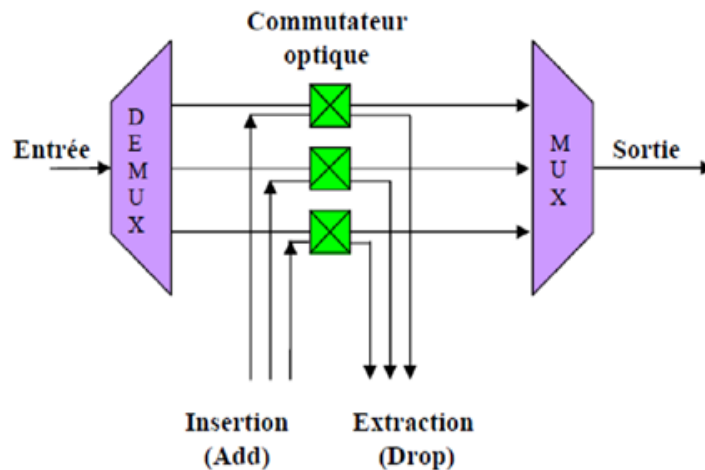


Figure 3.2 : Prestation schématique d'un OADM.

Les fonctions de reconfiguration ou de commutation vont du tableau de connexions à fibre optique à diverses technologies de commutation avancées telles que les systèmes micro électromécaniques (MEMS) et les commutateurs thermo-optiques et à cristaux liquides dans les circuits de guide d'ondes planes [33].

III.1.1.2. Fonction principale et principe de fonctionnement d'OADM

Comme nous le savons déjà, OADM signifie "Optical Add-Drop Multiplexer". Ici, "Ajouter" fait référence à la tendance de l'appareil à ajouter un ou plusieurs canaux de longueur d'onde à un signal WDM existant. Alors que "Drop" fait référence à d'extraire un ou plusieurs canaux et à acheminer ces signaux vers un chemin réseau différent. L'ODAM laisse tomber sélectivement une longueur d'onde de nombreuses longueurs d'onde circulant à travers une fibre. Il peut être configuré pour ajouter la même longueur d'onde dans le flux de données, mais avec un contenu de données différent. Le diagramme suivant explique ce qui se passe lorsque nous implémentons un OADM dans un réseau [33].

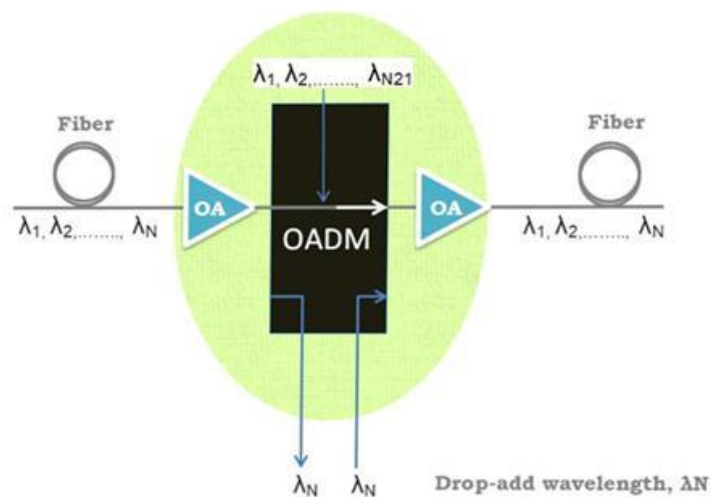


Figure 3.3 : fonctionnement de l'OADM.

III.1.1.3. brasseur optique (OXC)

Les brasseurs optiques sont utilisés pour rediriger les signaux lumineux d'une fibre à une autre à l'aide de commutateurs. Le plan de commutation peut être figé ou reconfigurable. Dans ce dernier cas, différentes techniques sont utilisées : les Microelectromechanical Systèmes (MEMS) ou les commutateurs optiques à commande électrique [5].

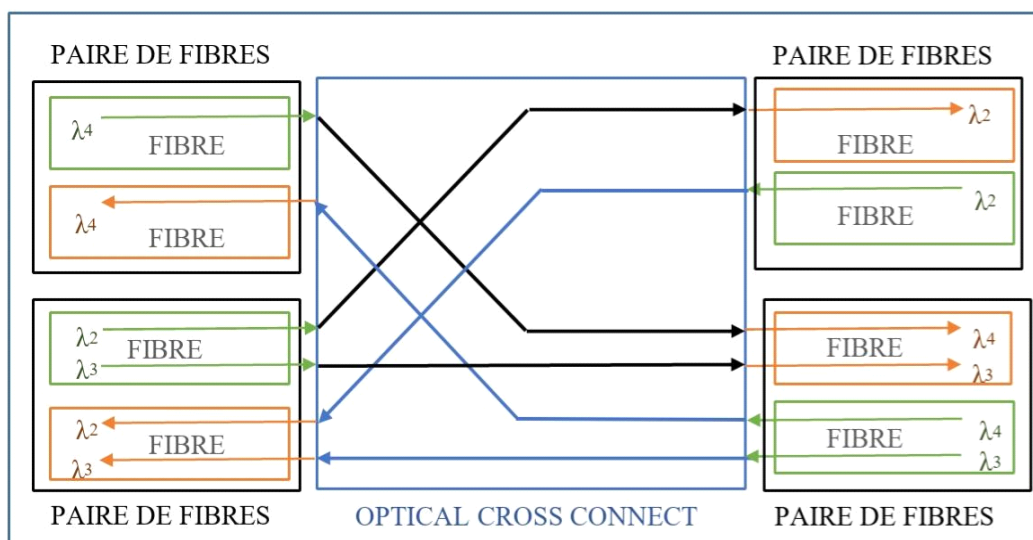


Figure 3.4: brasseur ou OXC.

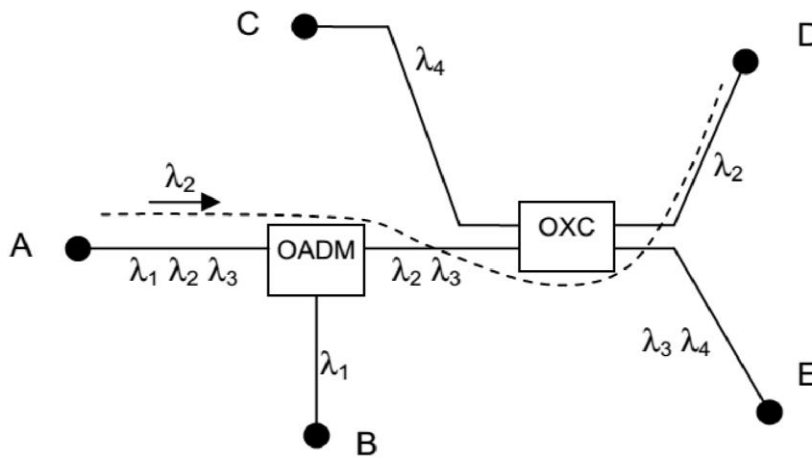


Figure 3.5 : Exemple OXC et OADM.

III.1.1.4. circulateurs optiques

Un circulateur optique est conçu pour transmettre la lumière d'une fibre optique à une autre. Il s'agit d'un dispositif non réciproque acheminant la lumière en fonction de la direction de propagation de la lumière. Le circulateur optique et l'isolateur optique peuvent être utilisés pour faire avancer la lumière. Cependant, il y a typiquement plus de perte d'énergie lumineuse dans l'isolateur optique que dans le circulateur optique. Le circulateur optique se compose généralement de trois ports : deux ports sont utilisés comme ports d'entrée et un port comme port de sortie. Un signal est transmis du port 1 au port 2, et un autre signal est transmis du port 2 au port 3. Enfin, un troisième signal peut être transmis du port 3 au port 1. De nombreuses applications n'en nécessitent que deux, elles peuvent donc être construites pour bloquer toute lumière qui frappe le troisième port [34].

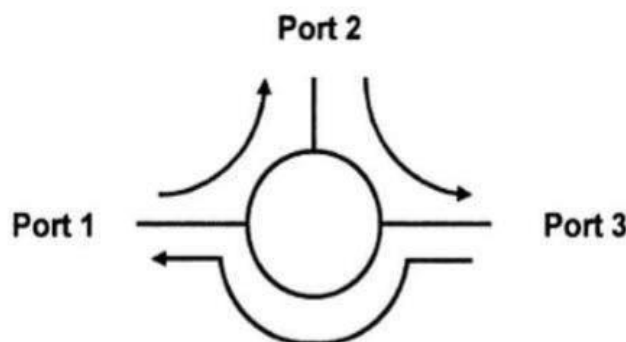


Figure 3.6 : Circulateurs optiques.

III.1.1.5. réseaux de Bragg

✚ Voir 2^{ème} chapitre [II.3 Définition].

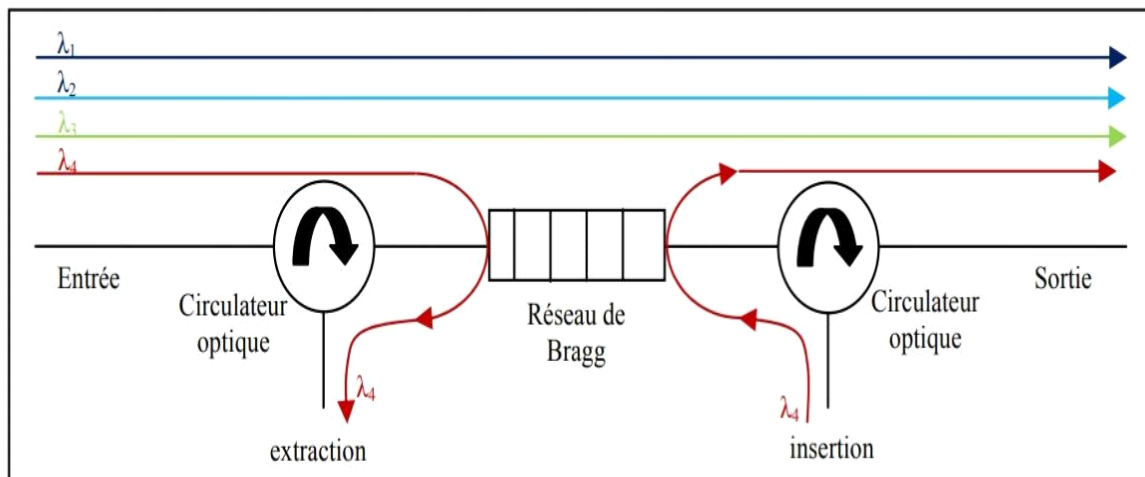


Figure 3.7 : Schéma d'un OADM à base de réseaux de Bragg et des circulateurs optiques.

III.1.2. Application de l'OADM [35]

Dans les systèmes de transmission longue distance conventionnels, l'accent a été mis sur la capacité et la distance que le système peut transmettre. Dans les réseaux métropolitains/d'accès, cependant, un faible coût et une flexibilité du système sont fortement nécessaires. L'OADM peut vérifier les deux demandes. Le champ de bataille principal de l'application OADM est dans MAN (réseau métropolitain), avec une grande flexibilité, une mise à niveau et une amplification faciles. En tant que plate-forme de transport multi-services idéale dans l'application MAN, OADM permet également de multiplexer un signal de multiplexage de différentes longueurs d'onde à différents endroits. Une autre application pour OADM est la connexion croisée optique (OXC). Les équipements proposés permettent à différents réseaux de connecter des ressources de longueur d'onde dynamique à la demande et une plus large gamme d'interconnexions de réseau. OADM et OXC ont seulement besoin de télécharger les informations dans les nœuds pour envoyer la personne qui manipule l'équipement.

Voici quelques types de services pour lesquels l'OADM est largement considéré :

- Contrôle et alarmes SCADA.
- La mise en réseau.
- Vidéo SD / HD.
- Audio Professionnel.
- Télécommunications.

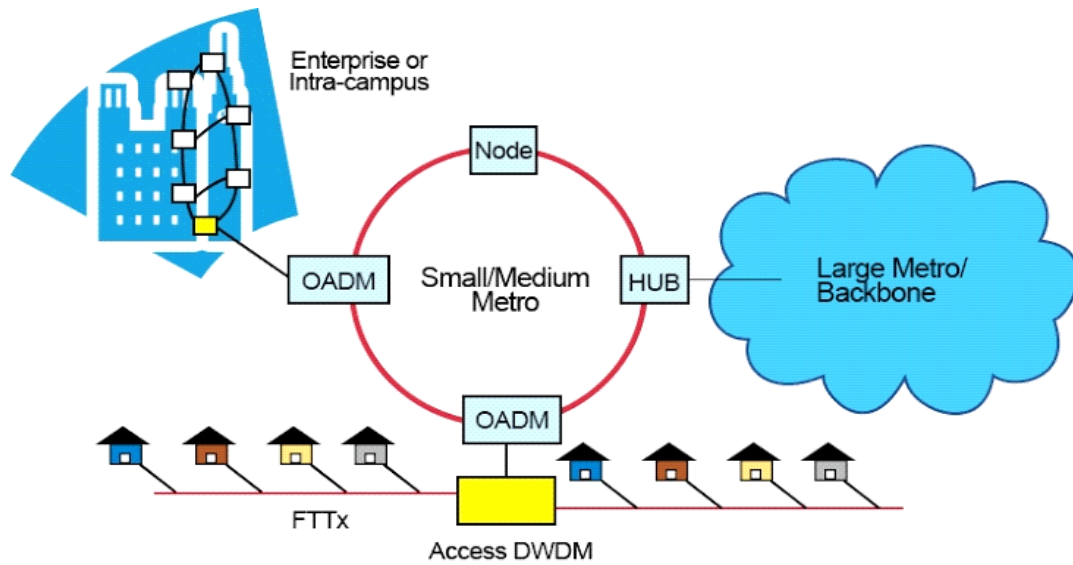


Figure 3.8: Application de l'OADM

III.1.3.Types

Il existe deux principaux types d'OADM qui sont largement utilisés dans les réseaux de communication, à savoir, l'OADM fixe (FOADM) et l'OADM reconfigurable (ROADM). Un OADM avec des commutateurs optiques reconfigurables à distance dans l'étage intermédiaire est appelé un OADM reconfigurable (ROADM). Ceux qui ne disposent pas de cette fonctionnalité sont appelés OADM fixes. Les OADM fixes sont utilisés pour d'extraire ou ajouter des données uniques sur des canaux dédiés, et les OADM reconfigurables ont la capacité de modifier électroniquement le routage des canaux sélectionnés à travers le réseau optique. Bien que le terme OADM s'applique aux deux types, il est souvent utilisé de manière interchangeable avec ROADM [34].

III.1.3.1.Les avantages de ROADM par rapport à l'OADM fixe [36]

OADM est Comme 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:

1. Simplifier la conception du réseau de transport

La planification de l'attribution complète de la bande passante n'a pas besoin d'être effectuée lors du déploiement initial d'un système.

2. Répondez rapidement aux nouvelles demandes de bande passante

FOADM résout le problème de capacité, mais il est inflexible pour les besoins spontanés de bande passante. Au contraire, les réseaux basés sur ROADM sont appropriés lorsque la demande est imprévisible, en croissance ou qu'elle devrait être déplacée régulièrement.

3. Extension du transport de longueur d'onde

Les réseaux basés sur ROADM permettent une couche optique automatisée avec une connectivité multipoint dynamique, un ajout indépendant de longueur d'onde, une allocation de bande passante à distance qui a été améliorée avec des capacités de gestion de l'alimentation.

4. Reconfiguration à distance

ROADM permet de reconfigurer à distance les ajouts / suppressions de longueurs d'onde à un point de nœud, plutôt que de demander à un technicien d'installer des lasers / filtres d'ajout / de suppression avec des longueurs d'onde spécifiques dans le nœud du système WDM, et d'égaliser les niveaux de puissance des longueurs d'onde afin qu'ils puissent coopérer sur la même fibre.

5. Meilleure mise à niveau du réseau de service

ROADM automatise la couche optique pour supprimer la fourniture de services sujettes aux erreurs et égalise la perte de signal sur toutes les longueurs d'onde, réduisant ainsi le besoin d'équipement coûteux d'amplification de signal. Cela peut donc réduire les coûts des réseaux.

III.2. Multiplexage à Insertion/Extraction optique reconfigurable (ROADM)

III.2.1. Définition :

Les flux de trafic sont difficiles à prévoir dans les réseaux. Une augmentation soudaine du volume des communications et des données échangées sur une portion du réseau peut la

transformer en un goulot d'étranglement pouvant affecter plusieurs services et plusieurs connexions déjà en cours. Il est difficile de traiter ce genre d'évènements à l'aide de dispositifs statiques comme les OADM. Il ne faut pas perdre de vue que ces derniers ont des filtres fixes, ce qui exige qu'un opérateur modifie le dispositif à chaque fois que des changements importants de volume de trafic apparaissent. Pour résoudre ce genre de situation, les OADM configurables ou ROADM ont été développés. Ceux-ci rendent les liaisons plus flexibles en permettant une gestion dynamique, rapide et efficace du trafic.

Dans un ROADM, des longueurs d'onde choisies peuvent être insérées ou extraites à l'aide d'un système de gestion centralisé dans le réseau. De futures mises à niveau de débit ou de protocole peuvent être adaptées sans changement de commutateur ni déplacement sur le terrain. Bien entendu, toute cette opération de commutation est réalisée dans le domaine optique afin d'éviter les coûts et les limitations des conversions optique électrique optique (OEO) [5].

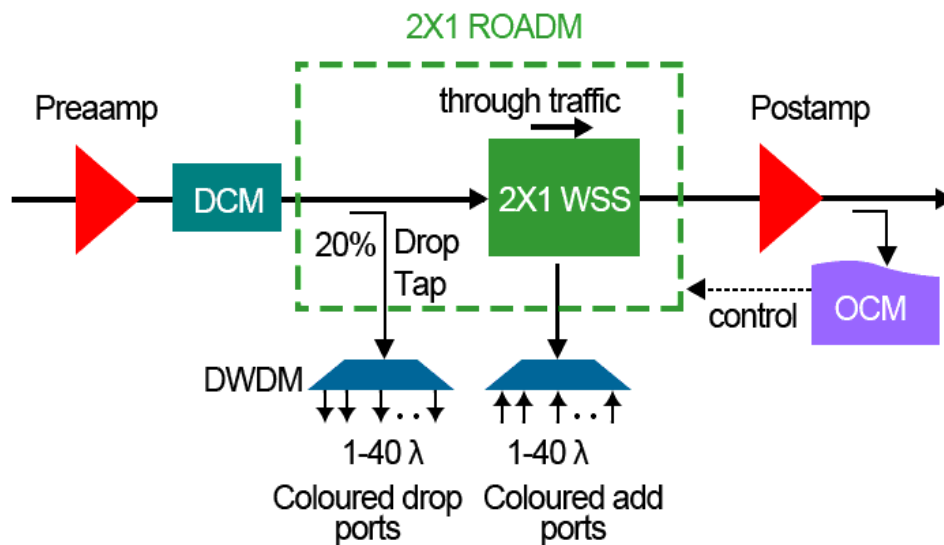


Figure 3.9 : Schéma d'un ROADM 2X1.

Les multiplexeurs optiques reconfigurables (ROADM) sont utilisés pour fournir une flexibilité dans le réacheminement des flux optiques, en contournant les connexions défectueuses, en permettant une interruption de service minimale et la possibilité d'adapter ou de mettre à niveau le réseau optique vers différentes technologies WDM mais configuration électronique de l'OADM pour obtenir la fonctionnalité requise [34].

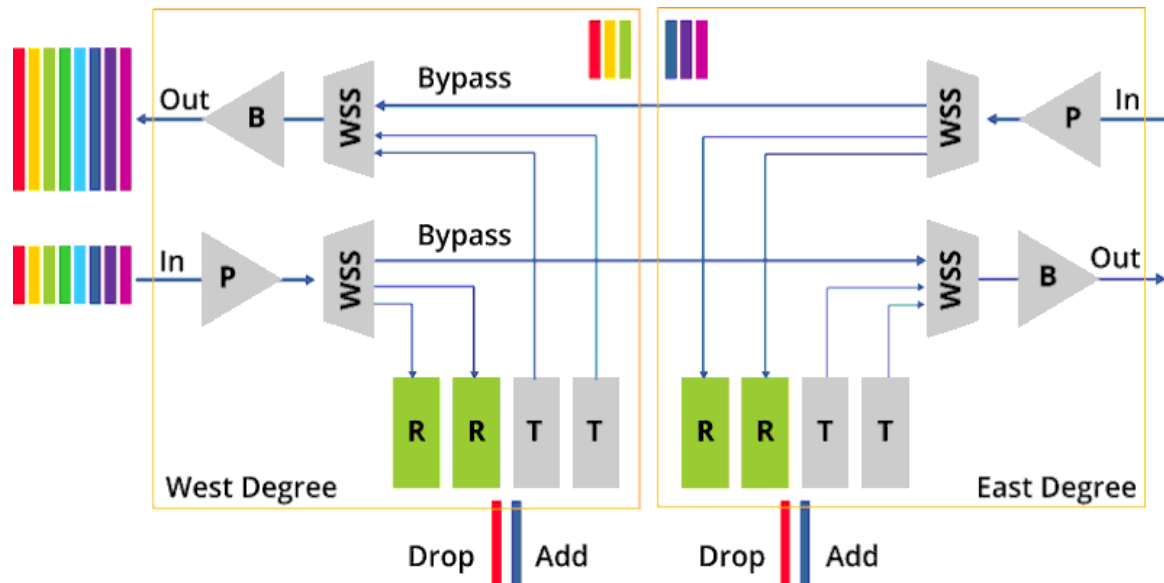


Figure 3.10 : Structure l'ROADM

En fait, les ROADN ont évolué sur trois générations principales. Aujourd'hui, le marché ROADN est caractérisée par l'introduction de quatre nouvelles fonctions: spectre incolore, sans direction, sans contention et flexible. Il reste à voir que la nouvelle technologie nous apportera plus d'avantages [33].

III.2.2. Théorie

Les principales caractéristiques des fibres optiques sont l'atténuation, la dispersion et les effets non-linéaires

III.2.2.1. Atténuation dans la fibre

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis. Elle s'exprime très souvent en décibels (dB). On définit un coefficient d'atténuation α pour une ligne de transmission de longueur L qui s'exprime en dB/Km tel que [37]:

$$\alpha(\lambda)_{(dB/km)} = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_S}{P_E} \right] \quad (3.1)$$

En comparant avec les autres supports de transmission comme le cuivre, l'atténuation de la fibre optique est faible, elle dépend en particulier de la longueur d'onde des impulsions lumineuses [38].

III.2.2.2. La dispersion dans une fibre optique

Dans le domaine des télécommunications optiques, les signaux sont des formes d'impulsions caractérisées par une certaine largeur spectrale confinées dans leur temps bit. Ce qui signifie qu'il n'est pas purement monochromatique, mais se compose de plusieurs composantes spectrales (c'est-à-dire plusieurs fréquences ou longueurs d'onde).

Et, comme l'indice de réfraction d'un milieu, telle la fibre optique, dépend de la longueur d'onde du signal qui le parcourt, les composantes spectrales de ce signal vont s'y propager avec des vitesses différentes. Elles sont donc retardées les unes par rapport aux autres ce qui induit le caractère dit « dispersif » de la fibre. Certaines fréquences se retrouvent ainsi à l'avant de l'impulsion, d'autres à l'arrière. Il s'opère alors un élargissement temporel des impulsions du signal. Cet élargissement limite le débit, en nous obligeant à augmenter le délai entre deux impulsions [39].

1. la dispersion chromatique

La dispersion chromatique induit un élargissement temporel des impulsions se propageant dans la fibre.

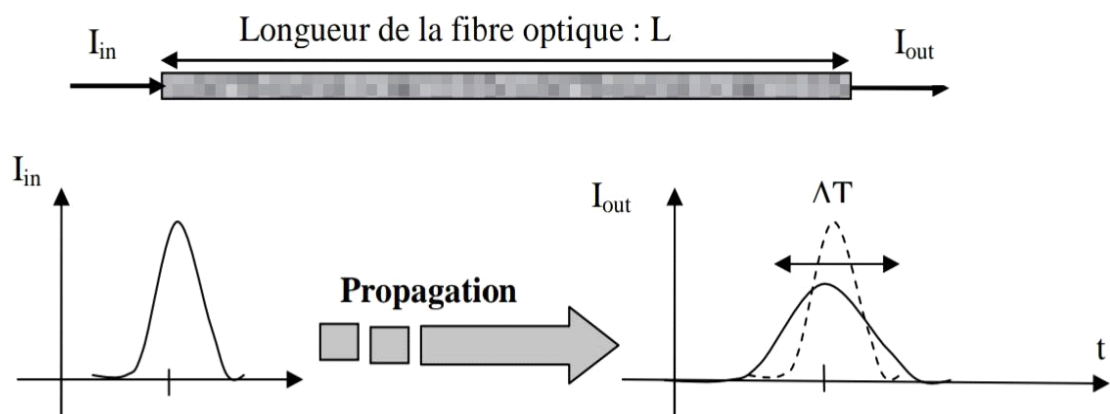


Figure 3.11 : Effet de la dispersion chromatique : le signal qui se propage s'élargit

Elle limite aussi la distance sur laquelle un signal peut être transmis sans régénération électronique du signal numérique d'origine. Cette distance est appelée limite de dispersion ou longueur de dispersion chromatique L_D . Elle représente la distance de transmission au bout de laquelle une impulsion s'élargira de l'intervalle d'un bit. La limite de dispersion estimée pour un signal de largeur spectrale $\Delta\lambda$ est donnée par [37]:

$$L_D \approx \frac{1}{2.B.D.\Delta\lambda} \quad (3.2)$$

Avec : B est le débit de transmission

2. La dispersion modale de polarisation

En principe, la polarisation, dans une fibre parfaitement circulaire et isotrope, ne devrait pas évoluer le long de la fibre, mais on n'observe rien de tel dans la pratique. Un petit tronçon de fibre apparaît généralement comme une lame biréfringente, avec un mode dit rapide et un mode dit lent qui ont des polarisations rectilignes orthogonales. De plus, dans une fibre réelle, cette biréfringence et la direction des axes propres varient constamment et de manière incontrôlée. En conséquence, la polarisation devient rapidement imprévisible. Ce phénomène est dû à la non-symétrie de révolution du profil d'indice dans le cœur de la fibre, non-symétrie intrinsèque à la fabrication de la fibre et/ou extrinsèque lors de la pose de la fibre. Les origines intrinsèques peuvent être une symétrie géométrique circulaire imparfaite de la fibre ou une non-homogénéité de l'indice de la fibre. Les causes extrinsèques peuvent être un écrasement, un étirement, une torsion ou une courbure de la fibre.

Quand on envoie un signal sur une fibre " biréfringente " on excite les deux modes à la fois. Chacun d'entre eux ayant sa propre vitesse de propagation, un décalage temporel apparaît. Ce décalage aléatoire a pour effet un dédoublement du signal à la sortie de la fibre, et donc un brouillage de l'information. Cette dispersion est appelée dispersion modale de polarisation (PMD) et est de nature statistique. Elle s'exprime donc en ps/\sqrt{Km} .

La PMD est une moyenne temporelle des différents temps de groupe différentiel (DGD) qui ont été mesurés sur une fibre optique pendant un laps de temps donné, souvent assez long (typiquement 6 mois pour tenir compte des variations naturelles de DGD, mais qui peut être réduit en introduisant artificiellement des contraintes influant sur le DGD) [40,41].

Le DGD quantifie l'écart temporel mesuré entre les composantes de polarisation du signal sur chaque axe propre de la fibre, après la propagation sur une distance donnée. Il est défini par l'équation suivante :

$$DGD = B_L * \sqrt{L_C} * \sqrt{L} \quad (3.3)$$

Où, B_L représente la biréfringence linéique, L_C est la longueur de couplage, et L représente la longueur de la fibre optique.

Un schéma de principe du DGD est présenté sur la figure (3.12):

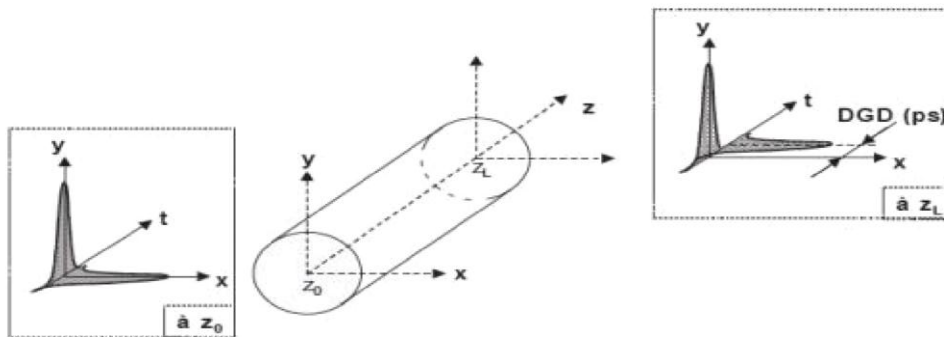


Figure 3.12 : Schéma de principe du DGD dû à la biréfringence [40,41].

Les DGD pénalisants sont bien sûr ceux qui ont des valeurs très élevées (au-delà de 100 ps par exemple). Elles apparaissent très rarement, mais suffisamment tout de même pour rendre le système indisponible pendant un certain temps à cause de trop fortes pénalités dues au DGD. Les opérateurs spécifient généralement un taux d'indisponibilité du système de 10^{-5} . Les fibres sont alors conçues de sorte que leur PMD soit compatible avec ce taux d'indisponibilité, notamment lorsque le débit atteint voire dépasse 40 Gb/s. Les meilleures PMD, qui ont été obtenues pour une fibre standard sont inférieures à $0.1 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$.

2. La dispersion intermodale

En plus des dispersions vues précédemment, nous pouvons citer une troisième qui n'est présente que dans les fibres multimodes, c'est la dispersion intermodale. Cette dernière est la cause principale de l'élargissement des impulsions dans une telle fibre. Cet élargissement est provoqué par les différences des temps de parcours des rayons (ou des modes).

La dispersion intermodale D_i est l'élargissement temporel maximum τ d'une impulsion par unité de longueur de fibre. Elle s'exprime en ps/Km.

$$D_i = \frac{t_{max} - t_{min}}{L} = \frac{\tau}{L} \quad (3.4)$$

Où, t_{min} et t_{max} sont respectivement le temps de parcours du mode le plus lent et celui du mode le plus rapide. Dans une fibre à saut d'indice, le rayon le plus rapide est celui dont le trajet est parallèle à l'axe de la fibre. Ce rayon est associé à l'angle θ égal à 0 c'est « le mode fondamental ». De même, le rayon le plus lent fait un angle θ_{max} par rapport à l'axe de la fibre avec θ_{max} défini par :

$$\theta_{max} = \arcsin \left(\frac{\sqrt{n_{coeur}^2 - n_{gaine}^2}}{n_{coeur}} \right) \quad (3.5)$$

Avec :

$$\tau = t_{max} - t_{min} = n_{coeur} \cdot t_{min} \cdot \Delta \quad (3.6)$$

Finalement on exprime la dispersion intermodale par :

$$D_i = \frac{n_{coeur} \cdot \Delta}{c} \quad (3.7)$$

L'obtention d'une dispersion intermodale réduite se fait en minimisant Δ ou en utilisant une fibre à gradient d'indice. En effet, dans ce cas-là, l'indice de réfraction n_{coeur} décroît avec le rayon de celui-ci de sorte que les rayons axiaux (à trajet court) voient un indice élevé (leur vitesse c/n est alors réduite) tandis que les rayons périphériques (à trajet long) voient un indice plus bas (vitesse accrue) [40,41].

III.2.3. Les effets non linéaires

1. effet Kerr [42]

L'effet Kerr, en optique géométrique, est une extension des lois de la réfraction de la lumière lors de la propagation de cette lumière dans des milieux d'indice variable. L'indice de Réfraction peut alors s'exprimer sous la forme d'une équation non linéaire proportionnelle à la puissance optique :

$$n = n_{\text{coeur}} + n_{NL} \frac{p}{A_{\text{eff}}} \quad (3.8)$$

Où n_{NL} est le coefficient de non linéarité de la fibre, p est la puissance optique en Watt, A_{eff} est la surface effective du cœur en m^2

D'une manière générale, l'effet Kerr provoque les effets non linéaires suivants :

1.1. L'auto modulation de phase, (SPM, Self Phase Modulation)

Dans un signal modulé en intensité, la modification de la phase de l'onde proportionnellement à l'intensité de l'onde elle-même est appelée SPM. Une des caractéristiques de la SPM est le décalage en fréquence [42].

1.2. La modulation de phase croisée, (XPM, Cross Phase Modulation)

L'effet XPM intervient quand il y a au moins deux ondes de fréquences différentes qui se propagent simultanément dans la fibre. Par définition, c'est la variation non linéaire de la phase du champ électrique d'une des ondes sous l'effet du champ électrique de l'autre.

Précisons qu'à intensités égales, la contribution de la XPM est double de celle de la SPM, elle induit tout comme la SPM, un élargissement spectral des impulsions, à la différence majeure que l'effet de la XPM dépend sensiblement de la polarisation des deux ondes et des informations véhiculées par les deux porteuses. Il s'ensuit un glissement relatif des impulsions véhiculées par les deux porteuses, ce glissement s'accroît plus rapidement

Que la dispersion chromatique de la fibre est plus grande et que les porteuses optiques sont plus espacées en fréquence : $\omega_3 + \omega_4 = \omega_1 + \omega_2$ [42].

1.3. Le mélange à quatre ondes (FWM, Four Wave Mixing)

Représente une autre manifestation de l'effet Kerr, à l'image de la XPM, caractérisée par un processus engendrant de nouvelles longueurs d'ondes lorsque deux porteuses au moins se propagent dans la fibre. À la différence de la XPM, ce cas consiste à l'interaction de deux ondes de fréquences distinctes $\omega_{1, 2}$ produisant deux autres ondes de fréquences $\omega_{3, 4}$ de sorte que : $\omega_3 + \omega_4 = \omega_1 + \omega_2$

Comme son nom l'indique, la FWM implique une interaction faisant intervenir quatre ondes de fréquences toutes ou partiellement distinctes. On parle de dégénérescence quand l'interaction fait intervenir deux fréquences identiques parmi les quatre.

Le deuxième mécanisme qui peut générer des effets non linéaires est l'effet Raman et Brillouin spontanés: ces effets sont dus à l'interaction entre les modes de vibration du verre, les photons et les phonons de l'onde propagée [42].

2. L'effet Brillouin

Cet effet impose une limite sur la quantité de puissance optique qui peut être utilement injectée dans une fibre optique. L'effet SBS a une puissance de seuil : quand ce seuil est dépassé, un facteur significatif de la lumière transmise est réorienté en arrière vers l'émetteur, onde de Stokes, avec une fréquence inférieure à celle du signal; le SBS induit un bruit significatif dans le système. L'efficacité de cet effet diminue si le signal est modulé et disparaît pratiquement pour une bande supérieure à 100 GHz [37].

3. L'effet Raman

L'onde engendrée se propage dans le même sens et elle possède un décalage en fréquence beaucoup plus grand, de l'ordre de 10 THz [2]. Cet effet devient important dès que la largeur spectrale de l'ensemble des signaux transmis est supérieure à quelques nm, ce qui est le cas de l'ensemble des canaux DWDM. Le SRS limite la quantité de la lumière qui peut atteindre le récepteur. Pour un système consistant en N amplificateurs optiques, le seuil du SRS chutera d'un facteur N [37].

III.2.4. Taux d'erreur binaire (BER)

Étant donné que dans les systèmes de transmission, les données sont transmises d'une manière numérique, c'est-à-dire une séquence de données binaires, le critère le plus intuitif permettant d'évaluer la qualité du signal transmis est la comparaison entre la séquence binaire à l'émission et celle à la réception. Nous parlons dans ce cas de taux d'erreur binaire TEB ou BER (pour Bit Error Rate).

Il est défini par le rapport entre le nombre de bits erronés et le nombre de bits transmis:

$$BER = \frac{\text{nombre de bits erronés}}{\text{nombre de bits transmis}} \quad (3.9)$$

En générale, pour les télécommunications optiques, on considère qu'on a une bonne qualité de transmission pour un TEB variant entre 10^{-9} et 10^{-12} [43].

III.2.5. Facteur de qualité (Q)

Il existe un autre critère d'évaluation de la qualité de transmission appelé le facteur de qualité (Q) obtenu à partir des statistiques de bruit (moyennes et écarts-types) des niveaux « 1 » et « 0 » du signal à détecter. C'est un paramètre permettant d'estimer le taux d'erreur binaire sans avoir à compter de les erreurs, mais en considérant tout simplement l'amplitude moyenne des bits « 1 » et « 0 » et la valeur de leur écart type et ce facteur est défini par :

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (3.10)$$

Où, I_1 et I_0 sont respectivement les valeurs moyennes des niveaux « 1 » et « 0 », et les écart-type du bruit sur le signal des symboles « 1 » et « 0 ». Ces grandeurs sont représentées sur la (figure 3.13).

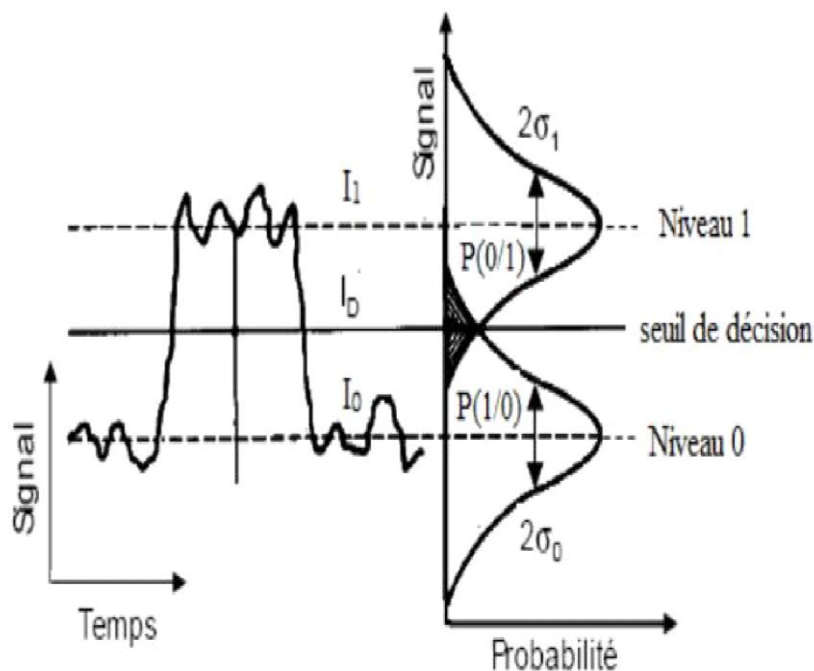


Figure 3.13 : Principe d'évaluation du taux d'erreur par le facteur Q : à gauche, trace temporelle du signal avec les niveaux moyens « 1 » et « 0 » (respectivement I_1 et I_0) et à droite, distributions des deux niveaux et écarts-types associés [43,44].

III.2.6. Le rapport signal sur bruit optique (OSNR)

Le rapport signal sur le bruit optique OSNR (Optical Signal to Noise Ratio) est un paramètre permettant d'évaluer la qualité du signal à la réception. La valeur de ce paramètre est le rapport entre la puissance du signal optique P_s et la puissance d'émission spontanée amplifiée P_{ASE} . Ce paramètre doit être supérieur à une certaine valeur pour que le signal puisse être détecté correctement. Ce dernier est mesuré dans une bande de référence B_{ref} dans laquelle est considéré le bruit. Ce rapport est donné par la formule suivante :

$$OSNR_{B_{ref}} = \frac{p_s}{p_{AES}} = \frac{p_s}{2N_0B_{ref}} \quad (3.11)$$

Où, N_0 est la densité spectrale de puissance du bruit d'émission spontanée amplifiée sur une des deux polarisations orthogonale et le facteur 2 provient du fait que le bruit d'ASE n'est pas polarisé. Par convention, la bande de référence B_{ref} est généralement fixée à 0,1 nm, soit de manière équivalente à 12,5 GHz à 1550 nm [40].

III.3.Types

Il y a trois principaux types de ROADMs, celles utilisant des bloqueurs de longueurs d'onde (WB), des Commutateurs sélectif en longueurs d'onde (WSS) et des Commutateurs croisée en longueurs d'onde (WXC). Nous allons présenter ces composants pour ensuite détailler les architectures ROADM basées sur chacun de ces éléments :

1. Wavelength Blocker

Un WB utilise une structure tout-optique pour atténuer simultanément un certain nombre ou la totalité des longueurs d'onde qui le traversent. Il utilise par exemple des MEMS dans lesquels un micro miroir actionné par une tension électrique est placé à la sortie de la fibre d'entrée et réfléchit plus ou moins de la lumière vers la fibre de sortie.

Il couvre la bande C (de 1525 à 1565 nm) ou la bande L (de 1566 à 1625 nm) des longueurs d'onde. Le contrôle de l'amplitude du signal optique peut varier d'une simple diminution de la puissance jusqu'à l'extinction totale de la longueur d'onde en question (qui est qualifiée de blocage de la longueur d'onde).

Le WB offre, à lui seul, une configuration 1 x 1, soit un port d'entrée et un port de sortie. Plusieurs WB peuvent être mis en parallèle pour une configuration 1 x N [34].

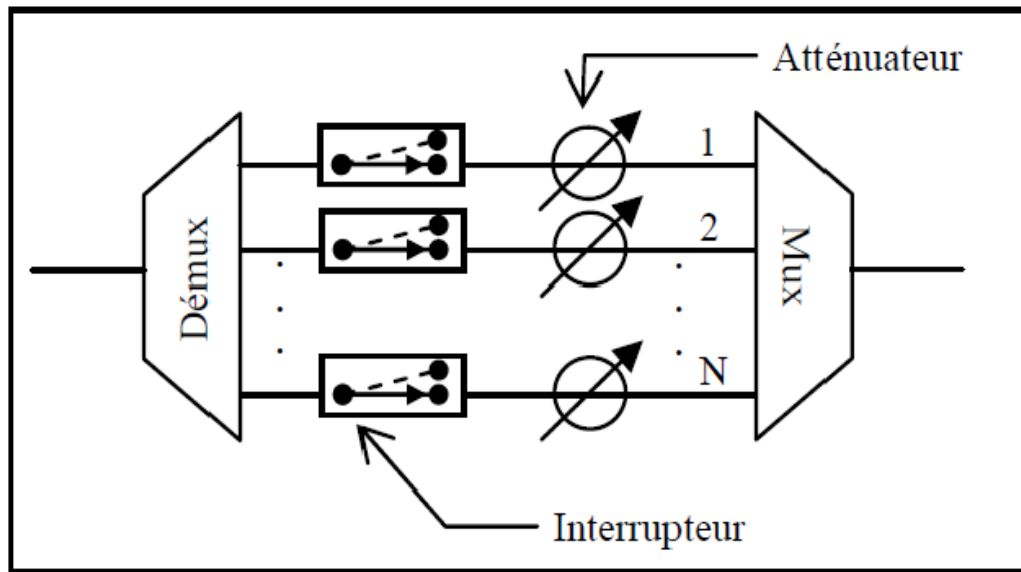


Figure 3.14: Wavelength Blocker, Adapté d'Eldada (2007).

Voici les caractéristiques du type ROADM Wavelength Blocker [45]

- ✓ Il fonctionne comme un égaliseur de canal dynamique. Ici max. l'atténuation fournit une fonctionnalité de coupure complète, c'est-à-dire qu'elle agit comme un interrupteur ON / OFF.
- ✓ Il utilise une architecture «diffusion et sélection».
- ✓ Il est utilisé dans les réseaux longs distance.
- ✓ Il dispose de 80 canaux avec un espacement d'environ 50 GHz.
- ✓ Les ports sont colorés.
- ✓ C'est cher avec les fonctionnalités limitées offertes.
- ✓ Il est utilisé dans les systèmes plus anciens.

"Wavelength Selective Switch"

Un WSS est un composant de commutation de signaux lumineux au niveau des longueurs d'onde. Il est caractérisé par le nombre de longueurs d'onde qu'il peut recevoir (par exemple

40 ou 80) et le nombre de fibres ou directions sélectionnables (par exemple 1 x 5 ou 1 x 9). La principale technologie utilisée pour réaliser la commutation dans les WSS est la technologie MEMS, mais on trouve des WSS à base de cristaux liquides également (tout comme pour les WB).

La (figure 3.15) eprésente un WSS 1 x 5 à base de MEMS. Les longueurs d'onde entrent dans le commutateur par la gauche sur une fibre attachée à une barrette de fibres optiques. Ce composant sert d'interface entre la fibre et l'espace libre, avec la lumière entrant par l'intermédiaire des fibres et sortant comme faisceaux projetés dans l'espace (l'intérieur d'un WSS est hermétiquement scellé et peut être un vide ou rempli d'air ou de gaz inerte). Un élément dispersif, comme le réseau de diffraction transmissif, illustré sur la figure, démultiplexe chaque faisceau en ses longueurs d'onde constitutives. Les longueurs d'onde sont projetées chacune sur un micro-miroir MEMS dédié. L'inclinaison de chaque miroir peut être contrôlée indépendamment des autres. Par le biais de l'inclinaison des micro-miroirs, les faisceaux sont réfléchis et dirigés vers les fibres de sortie (Nagy, 2006) [34].

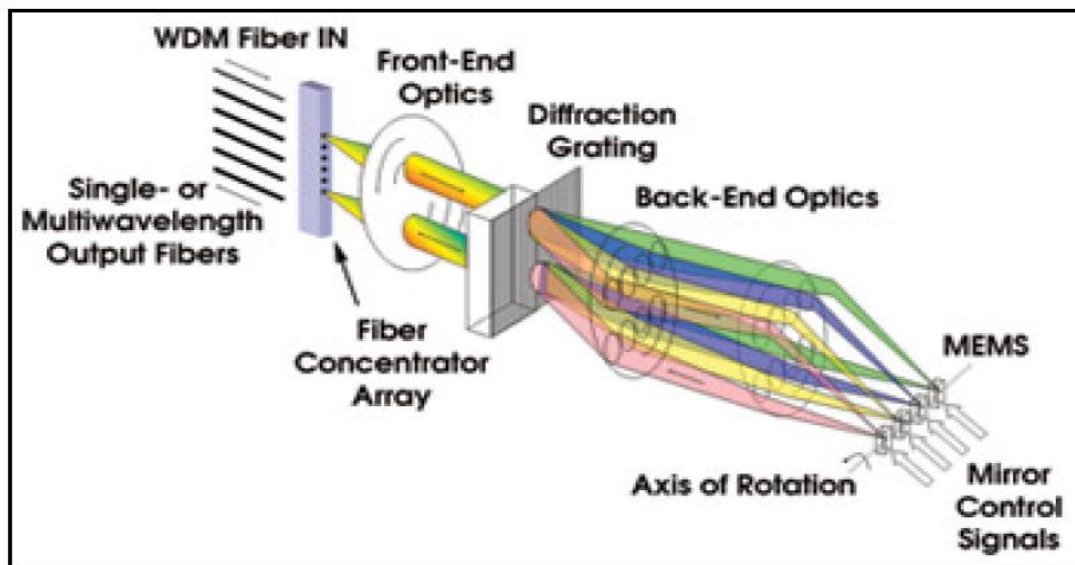


Figure 3.15 : Wavelength Selective Switch" à base de MEMS.Tiré de Nagy (2006).

La figure montre tous les faisceaux sortant par la même fibre, mais chaque miroir peut être dirigé différemment de façon à sortir le faisceau par n'importe quelle fibre de sortie.

Wavelength Cross Connect

Les WXC sont utilisés pour rediriger les longueurs d'onde d'une fibre à une autre à l'aide de commutateurs. Le signal en entrée est démultiplexeur et chaque longueur d'onde est envoyée à un commutateur déterminé. Ce dernier redirige cette longueur d'onde sur l'un des multiplexeurs de sortie (figure 3.16) [34].

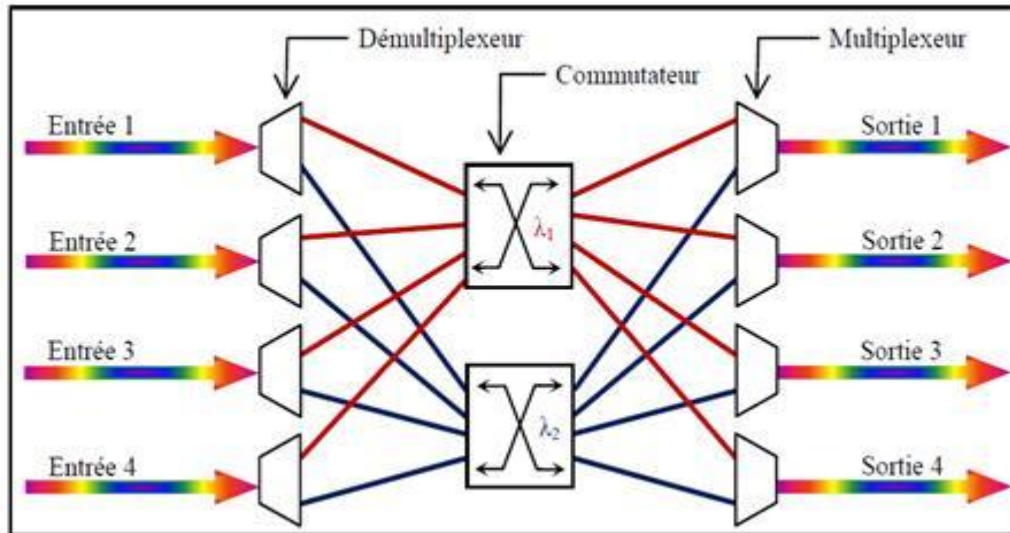


Figure 3.16 : Wavelength Cross Connect" de 4 fibres de 2 canaux.

Adapté d'Eldada (2007)

- ✓ **voici caractéristiques du type de ROADM WXC (Wavelength Cross Connect) [45]**
- ✓ Il fournit une connectivité N x N pour les réseaux maillés.
- ✓ Nœud reconfigurable non bloquant
- ✓ Configuration fiable
- ✓ Pas de régénération
- ✓ Pas de conversion de longueur d'onde

III.3.1. ROADM basé sur un WB [42]

Afin de faciliter la présentation de ce modèle nous supposons avoir douze longueurs d'onde circulant dans le réseau.

Le fonctionnement d'un ROADM utilisant un module WB se passe en 3 étapes (figure 3.17) :

diviseur de puissance :

- ❖ λ_1 - λ_{10} arrivent au diviseur de puissance 1 x 2,
- ❖ une partie de la puissance de ces dix longueurs d'onde est transmise au démultiplexeur et l'autre partie vers un autre diviseur de puissance 1 x N ;
- ❖ à la sortie du diviseur 1 x N, les filtres ne laisseront passer que les longueurs d'onde voulues au nœud présent (exemple : λ_1 - λ_3),

Multiplexeur /démultiplexeur:

- ❖ le démultiplexeur sépare les différentes longueurs d'onde ($\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{10}$),
- ❖ les longueurs d'onde non utilisées au nœud en question sont envoyées au multiplexeur sans atténuation, tandis que les autres (λ_1 - λ_3) sont bloquées,
- ❖ le multiplexeur regroupe les longueurs d'onde restantes et les envoie à la sortie vers le combineur de puissance,

Combineur de puissance :

- ❖ le combineur rassemble les longueurs d'onde de la sortie du multiplexeur (λ_4 - λ_{10}) et celles ajoutées à ce nœud (λ_{11} - λ_{12}),
- ❖ le tout (λ_4 - λ_{12}) est envoyé dans une fibre à destination du nœud suivant.

Du fait de l'usage de plusieurs diviseurs/combineurs de puissance, ce ROADM tend à présenter de grandes pertes d'insertion. Par contre, c'est un dispositif qui permet l'insertion et l'extraction de n'importe laquelle des longueurs d'onde dont on a installé le filtre.

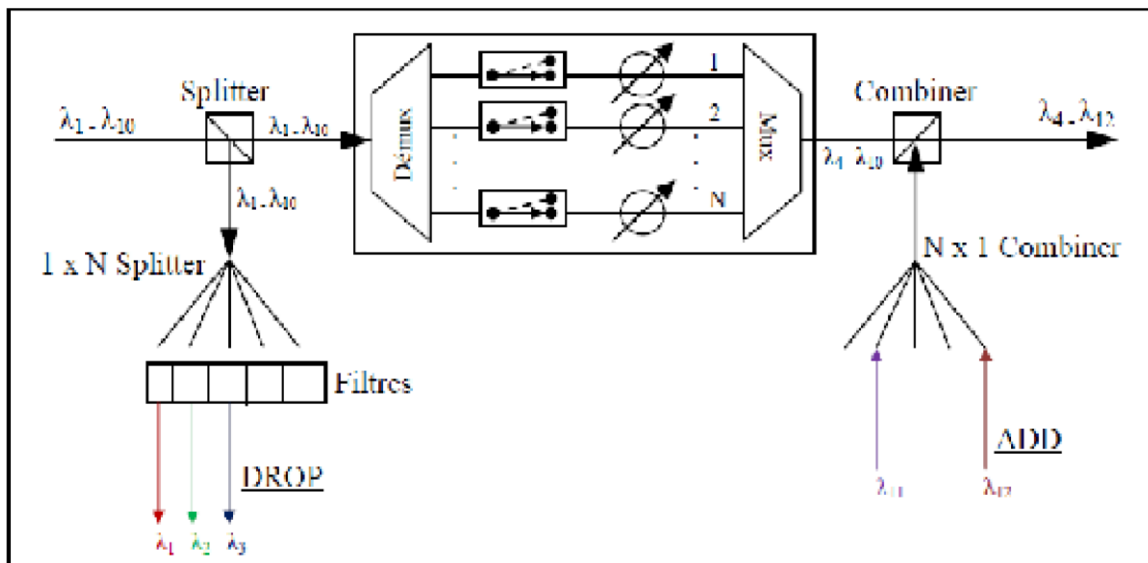


Figure 3.17 : ROADM avec un module WB Adapté d'Eldada (2007).

III.3.2. ROADM basé sur un WSS [42]

Les ROADM utilisant des modules WSS sont souvent implémentés en configuration 1 x 2 dans les réseaux en anneau de type SONET. À l'intersection de deux anneaux, les longueurs d'onde qui arrivent au ROADM, venant de l'anneau-1, vont : soit continuer leur chemin sur l'anneau-1, soit être extraites dans ce nœud, ou envoyées vers l'anneau-2 (figure 3.18).

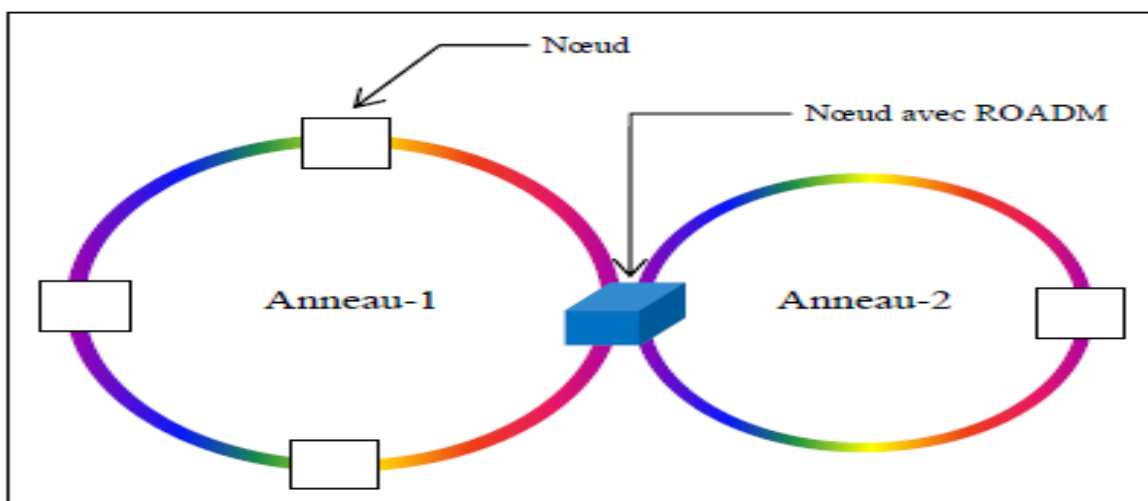


Figure 3.18 : Deux réseaux en anneau reliés par un ROADM.

Les ROADM WSS sont de deux types :

1. WSS avec insertion et extraction fixe (*colored*)
2. WSS avec insertion et extraction variable (*colorless*)

1. WSS avec insertion et extraction fixe (*colored*)

Ce type de ROADM permet d'insérer et d'extraire des longueurs d'onde prédéterminées dans le nœud (figure 3.19).

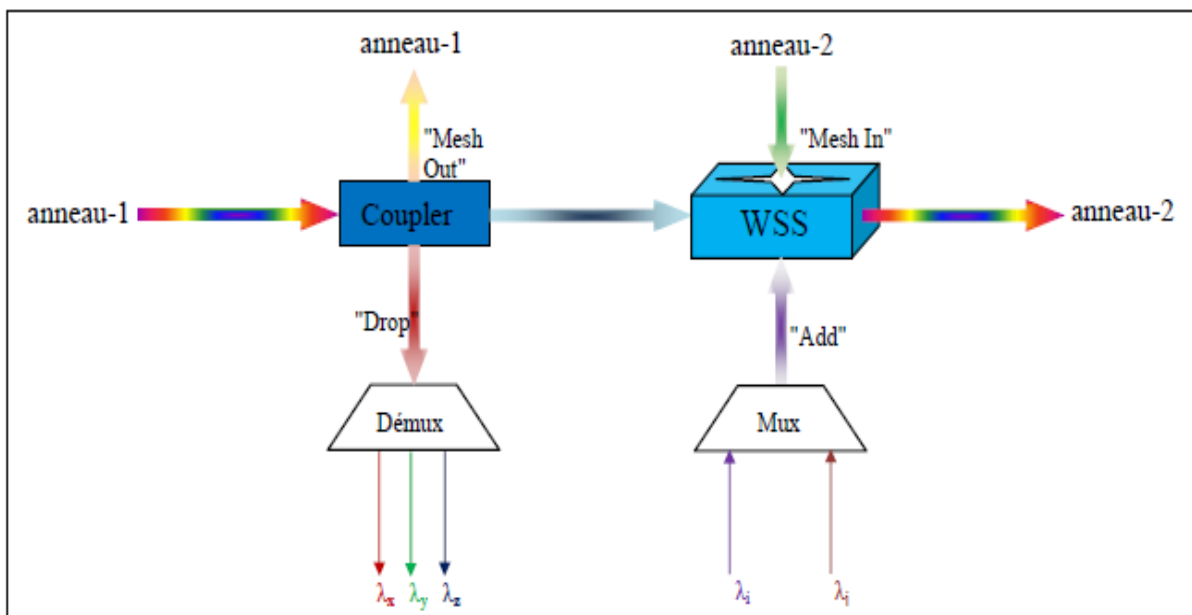


Figure 3.19 : Schéma d'un WSS-ROADM coloré Adapté d'Eldada (2007).

Le diviseur de puissance sépare les longueurs d'onde en trois groupes :

- ✓ "Mesh Out" : l'information venant de, et restant dans, l'anneau-1 suit son chemin et ne subit aucun traitement,
- ✓ "Drop" : les longueurs d'onde extraites dans ce nœud sont envoyées vers un démultiplexeur, puis chacune de celles-ci est transmise à un récepteur, · WSS : le module WSS reçoit trois entrées :
 - ✓ les longueurs d'onde venant de l'anneau-1 en direction de l'anneau-2,
 - ✓ "Mesh In" : les longueurs d'onde venant de, et restant dans, l'anneau-2,
 - ✓ Mux : les longueurs d'onde introduites à ce nœud sont multiplexées puis envoyées au WSS.

2. WSS avec insertion et extraction variable (colorless)

Afin de pouvoir insérer et extraire n'importe quelle longueur d'onde en fonction des besoins du moment, il faut remplacer le multiplexeur et le démultiplexeur par deux WSS (figure 3.20).

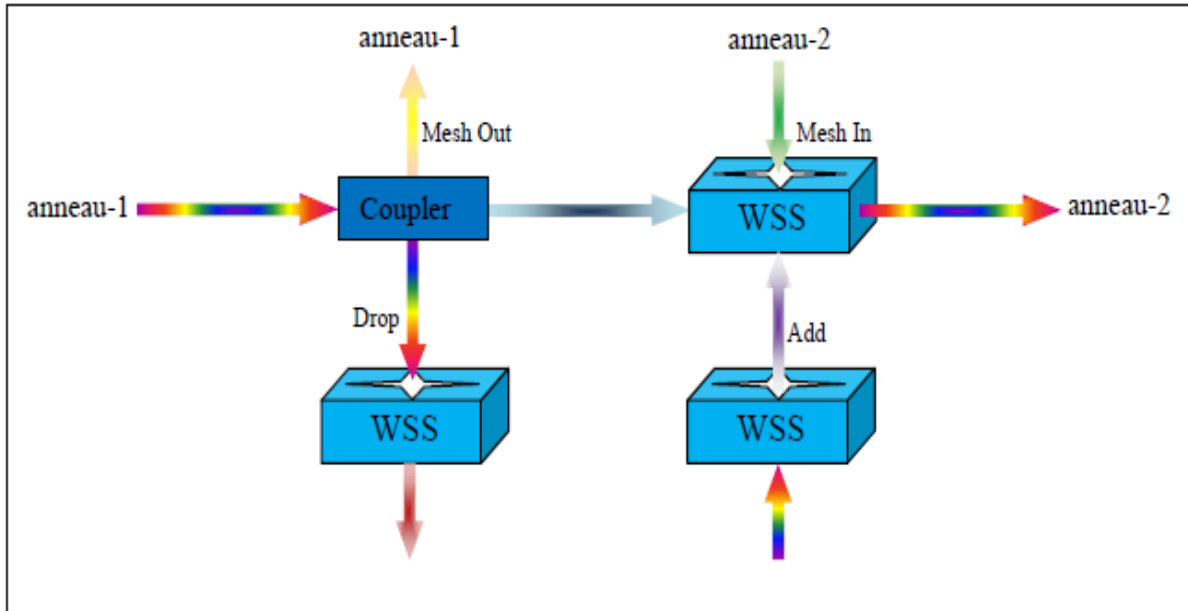


Figure 3.20 : Schéma d'un "colorless WSS-ROADM " Adapté d'Eldada (2007).

Le problème majeur de ce type de ROADM est le coût. Le prix d'un WSS est plus élevé que celui d'un multiplexeur/démultiplexeur, et le montant pour un WSS utilisant des ports colorés est encore plus dispendieux (Eldada 2007). En plus, trois WSS sont nécessaires pour chaque degré. À titre d'exemple, un nœud de degré quatre requiert l'utilisation de douze WSS (figure 3.21).

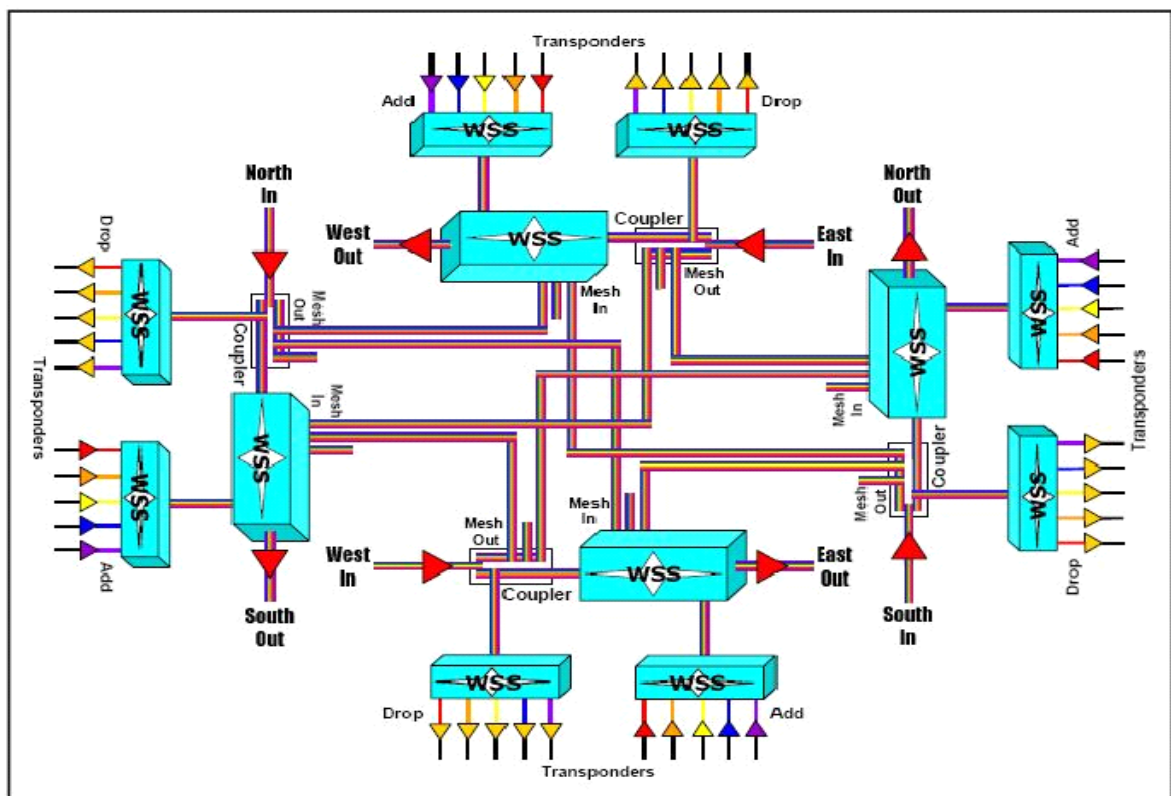


Figure 3.21 : Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM" de degré 4. Tiré d'Eldada (2007).

III.3.3. ROADM basé sur un WXC [42]

Les ROADM à base de WXC sont utilisés dans les réseaux maillés. Ce type de réseau permet d'offrir une plus grande capacité, une meilleure efficacité et plus de fiabilité grâce à l'augmentation du nombre de connexions et à un plus haut niveau de redondance.

Pour un réseau de N fibres et M longueurs d'onde par fibre, le WXC sera composé de N démultiplexeurs, de N multiplexeurs et M commutateurs $N \times N$. La figure 1.22 nous représente un ROADM pour huit (8) fibres avec quarante (40) canaux par fibre. Nous avons donc un WXC incluant huit (8) fibres de quarante (40) canaux, huit (8) démultiplexeurs, huit (8) multiplexeurs, et quarante (40) commutateurs 8×8 .

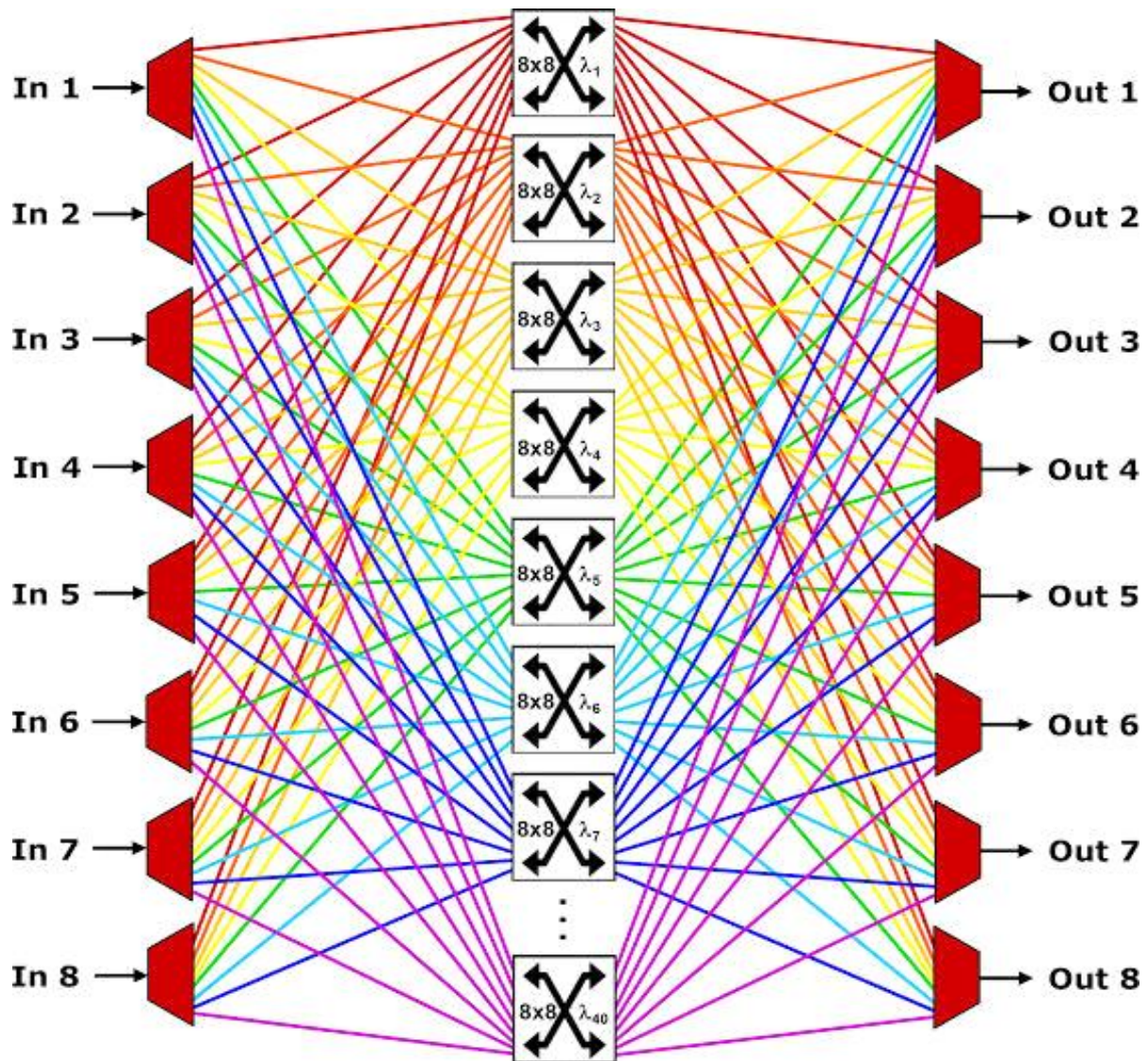


Figure 3.22 Schéma d'un ROADM basé sur un WXC [46].

Chaque démultiplexeur envoie une longueur d'onde différente sur chaque commutateur de telle manière que chaque commutateur reçoit quarante (40) signaux de même longueur d'onde. Chaque sortie de commutateur peut envoyer la longueur d'onde au multiplexeur spécifié lors de l'opération de commutation. Ainsi, par exemple, le multiplexeur-1 sélectionne les longueurs d'onde à utiliser localement dans le nœud (le Drop) et le multiplexeur-2 sélectionne les longueurs d'onde de transit.

L'inconvénient majeur de cette architecture est son coût dû au nombre élevé de composants requis.

Pour relever ce défi, les différents acteurs des télécommunications sont amenés à exploiter toutes les ressources afin de garantir un fonctionnement optimal du réseau en assurant notamment la prise en charge de l'augmentation constante du volume du trafic et sa flexibilité. A la différence des Multiplexeurs Optiques à Insertion/Extraction de longueurs d'onde (OADMs) conventionnels, les OADM reconfigurables (ROADMs) permettent aujourd'hui de répondre à ces nouvelles exigences. En effet, les opérateurs à travers le monde commencent à reconnaître la nécessité de disposer et de généraliser l'utilisation des ROADMs. Selon une étude prévisionnelle récente couvrant la période 2006-2011 [6], les ventes mondiales des systèmes ROADMs vont croître de \$266 Millions à \$920 Millions (Cf. figure 1.1). Un autre rapport indique que 65% de l'ensemble des acteurs réseaux comptent intégrer des ROADMs dans leurs réseaux métropolitains [48].

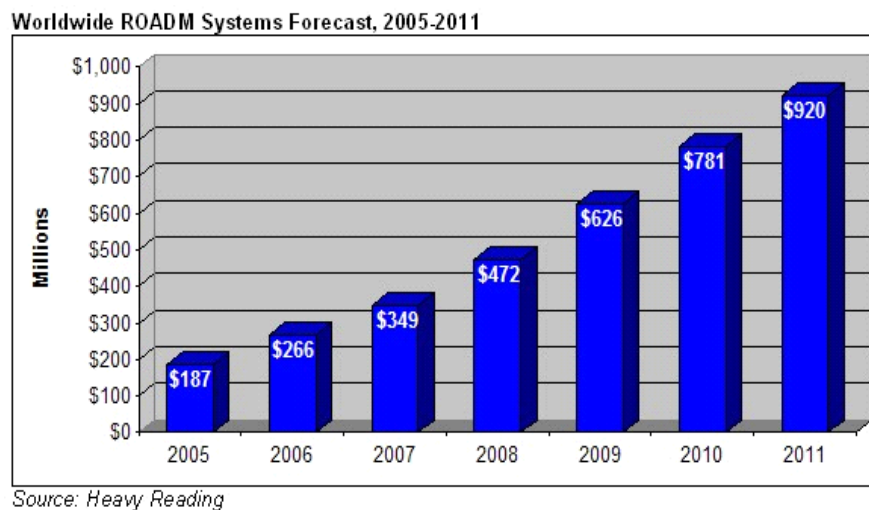


Figure 3.23 : Prévion de la vente mondiale des systèmes ROADMs, période 2005-2011 [47].

- **Conclusion:**

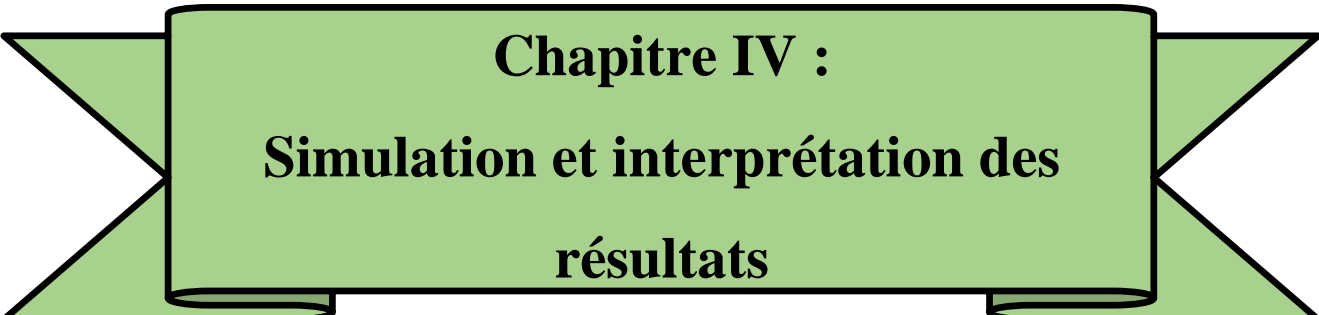
Dans ce chapitre, nous avons décrit le multiplexeur à insertion/extraction optique OADM pour laquelle nous avons présenté la théorie et les types de ce multiplexeur, ensuite nous avons mis en évidence le multiplexage à insertion/extraction optique reconfigurable ROADM, leurs principaux types. Nous avons de même décrit Les avantages de ROADM par rapport à l'OADM fixe.

L'OADM est un élément essentiel des réseaux de fibre optique. Il peut être déployé pour les réseaux métropolitains courts ou les réseaux centraux longs distance. OADM reconfigurable

(ROADM) et OADM fixe (FOADM) sont les deux schémas OADM les plus largement utilisés. Les multiplexeurs optiques supplémentaires sont un excellent moyen de réduire les coûts globaux de mise en réseau.

OADM est toujours en évolution – bien que ces composants soient relativement petits, il jouera un rôle clé dans la production de dispositifs compacts, monolithiques et rentables.

- Grâce à FOADM vs ROADM, nous pouvons voir que l'OADM fixe fait partie intégrante des réseaux WDM, car il ouvre la possibilité aux transporteurs de construire une couche de transport optique polyvalente, agile et facilement gérable. Tirée en grande partie par les économies de coûts et la flexibilité, la nouvelle génération ROADM apporte maintenant plus d'avantages aux utilisateurs et est sur le point de devenir monnaie courante dans les réseaux WDM partout dans le monde [36].



Chapitre IV :
Simulation et interprétation des
résultats

• **Introduction :**

Les systèmes de communication optique se développent rapidement, devenir de calculs et de complexité des résultats, ce qui a conduit à l'émergence de logiciels avancés pour faciliter l'étude.

Parmi ces logiciels se trouve programme OptiSystem, est un outil qui permet de réaliser toutes les opérations d'ingénierie, simuler, modéliser, analyser et concevoir tout module de communication optique, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication.

Dans ce chapitre, on va faire une simulation et présentation du logiciel OptiSystem en définissant leur interface, l'éditeur de layout et leurs bibliothèque, aussi les différentes applications de ce logiciel, On va étudier les performances et simuler le fonctionnement de cette technique. , puis on interprétée les résultats de simulation.

IV.I. Présentation du logiciel de simulation OptiSystem

OptiSystem est un outil interactif développé par la société canadienne Optiwave Systems Inc qui permet aux chercheurs et aux ingénieurs de simuler, modéliser, analyser et concevoir tout module de système optique allant du dispositif le plus élémentaire au système complet de communication décrit sous la forme de schéma de blocs. C'est un environnement interactif qui allie donc des outils numériques à des fonctionnalités graphiques et une interface utilisateur [49].

La démarche à suivre se décompose en deux étapes [50]

- Construire le schéma bloc.
- Analyser le schéma.

Interface de l'OptiSystem

L'interface OptiSystem contient une fenêtre principale répartit en plusieurs parties [50]:

- ✓ Bibliothèque.
- ✓ Editeur du layout.
- ✓ Projet en cours.

La bibliothèque

La bibliothèque est une base de donnée qui contient tout type de modèles qui permettent de réaliser les différents schémas blocs, comme les entrées, régénérateurs, codeurs, modulateur, filtres,...etc [51].

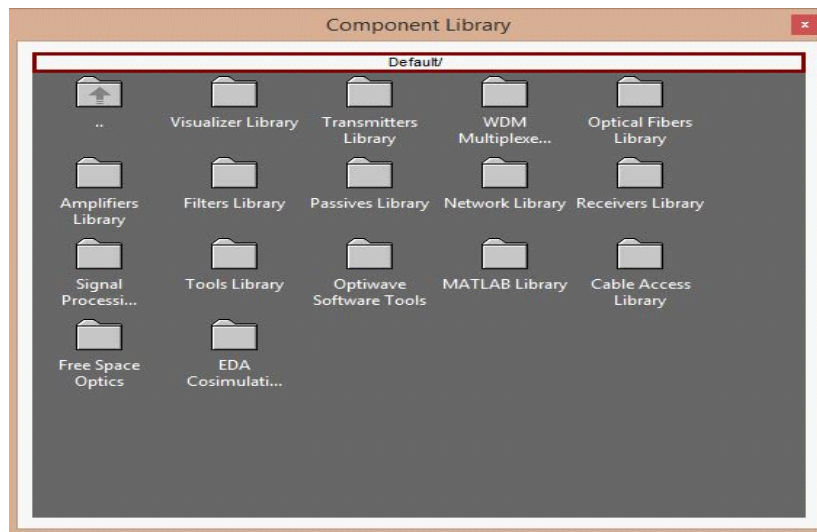


Figure 4.1 : La bibliothèque de logiciel optisystem.

Editeur du layout

L'éditeur de layout et la fenêtre qui permet de concevoir des schémas bloc avec des déferents composants de la bibliothèque où on peut les configurer en modifiant ces paramètres.

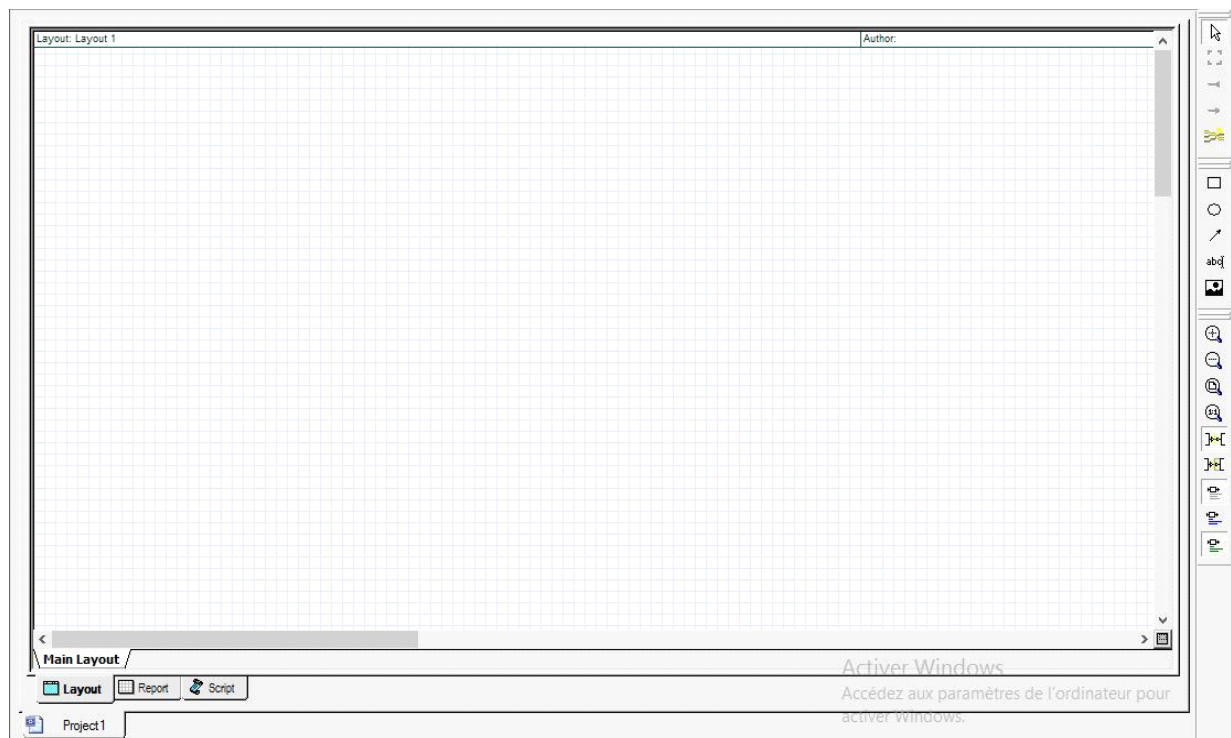


Figure 4.2 : Éditeur du layout.

Application d’Optisystem

Parmi les diverses applications d’Optisystem nous allons citer les plus utilisées [50]

- La conception du système de communication optique du composant au niveau de la couche physique.
- Le calcul du taux d’erreur binaire (BER) et le calcul du bilan de liaison.
- La conception des réseaux TDM/WDM et optiques passifs (PON).
- L’espace libre pour les systèmes optique (OSA).
- La conception d’anneau SONET/SDH.
- La conception d’émetteur de canal et d’amplificateur.

IV.II. Simulations

Le système défini ci-dessous il a été préparé et simulé à l’aide de logiciel Optisystem, on plus de multiplexeur d’insertion et extraction optique reconfigurable (ROADM), ont été ajoutés des analyseurs optiques pour détecter et vérifier les pertes, le gain, les bruits, et le rapporte ONSR, l’entrée de COADM a été connectée à un réseau laser CW, qui généré quatre signaux de longueurs d’ondes. Le deuxième réseau laser généré les canaux connectés aux ports d’entrée (ADD). Les signaux d’entrée ont des longueurs linéaires de 1 MHz et les signaux additifs ont des longueurs linéaires de 10 MHz. cette différence a été utilisée pour permettre une identification facile sources de signaux lorsqu’elles sont visualisées dans un analyseur de spectre optiques, le schéma de system est présentée dans la figure suivant.

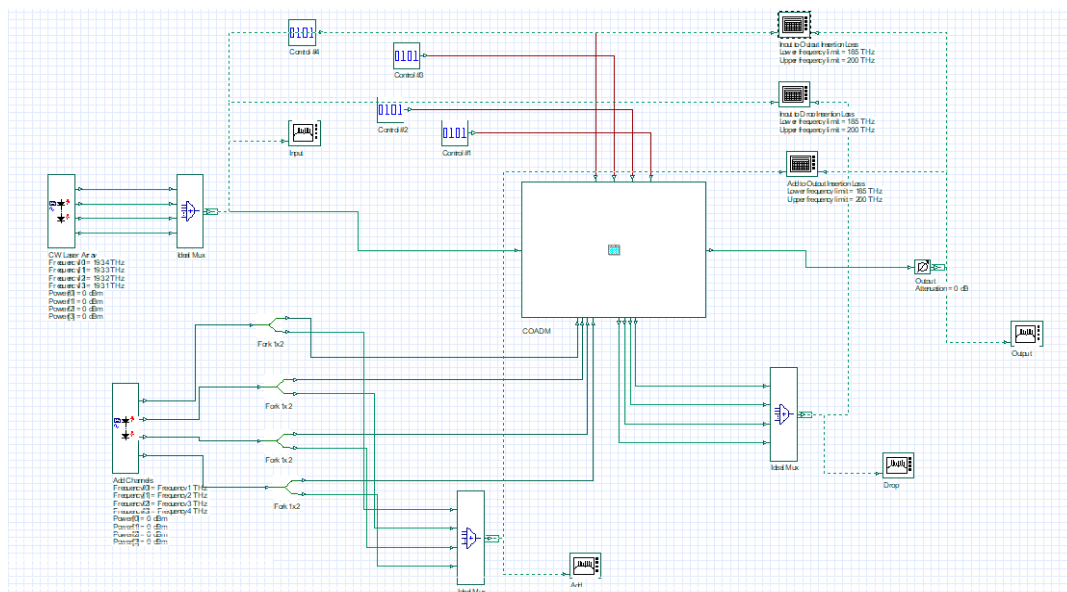


Figure 4.3 : Schéma d’un routeur optique à insertion/extraction des longueurs d’ondes.

La structure à l'intérieur se compose de quatre multiplexeurs optiques, quatre commutateurs optiques, et quatre démultiplexeurs optiques. Les multiplexeurs optiques ajoutent les longueurs d'onde et les démultiplexeurs optiques font chuter les longueurs d'onde. L'entrée binaire illustrée dans la description du système agit comme une commande pour piloter les commutateurs optiques, comme illustré à la figure 4.

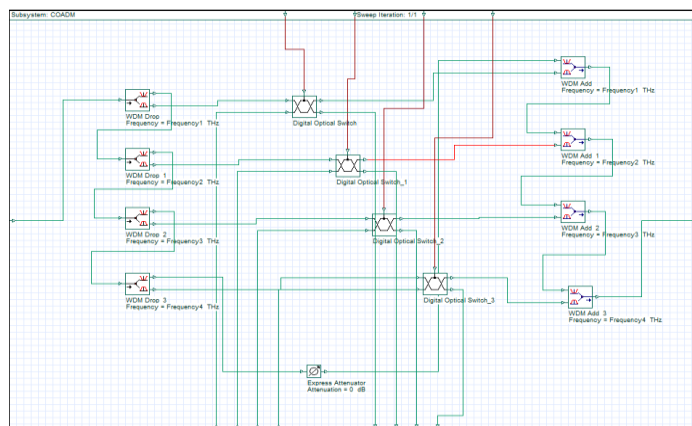


Figure 4.4 : Schéma à l'intérieur d'OADM.

Le réseau laser est utilisé pour quatre fréquences différentes sont 193,1, 193,2, 193,3, 193,4 THz. Ces quatre fréquences sont multiplexées sur la fibre optique. La largeur de ligne entre les fréquences est considérée comme nulle ; par conséquent, il n'y a pas de distorsion, le spectre optique au niveau de l'émetteur comme indiqué la figure 5.

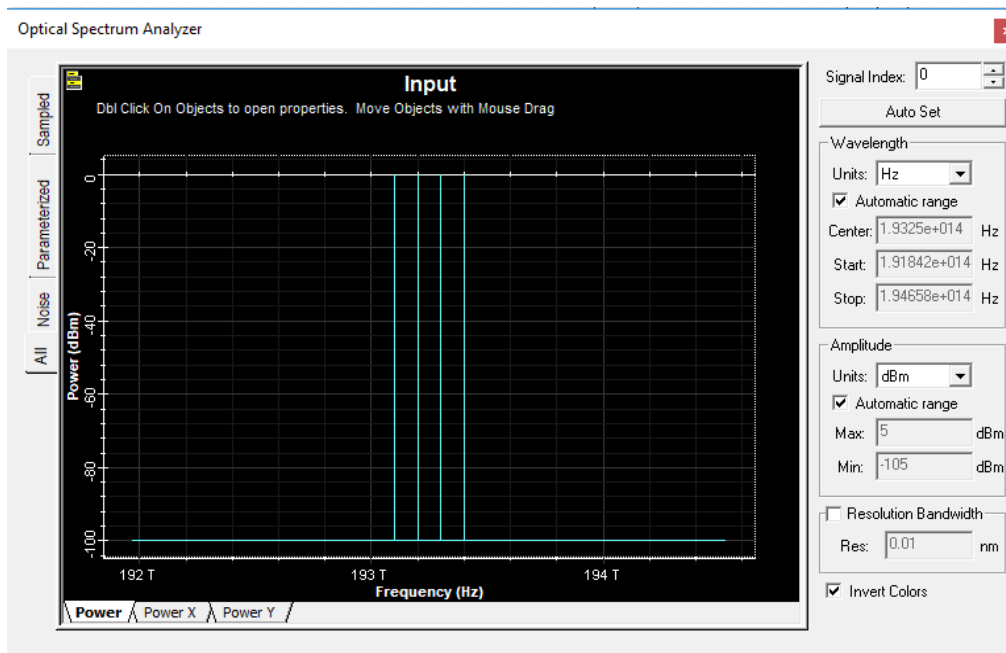


Figure 4.5 : Analyseur de spectre optique au niveau de l'émetteur.

Puis on ajoute quatre fréquences. Un autre réseau laser est utilisé pour générer un signal optique aux mêmes fréquences que l'entrée, mais la largeur de ligne varie jusqu'à 10 MHz. En raison de cette largeur de ligne, on peut remarquer la distorsion dans la sortie de l'analyseur de spectre optique, le spectre optique insertion des longueurs d'ondes, comme le montre la figure 6.

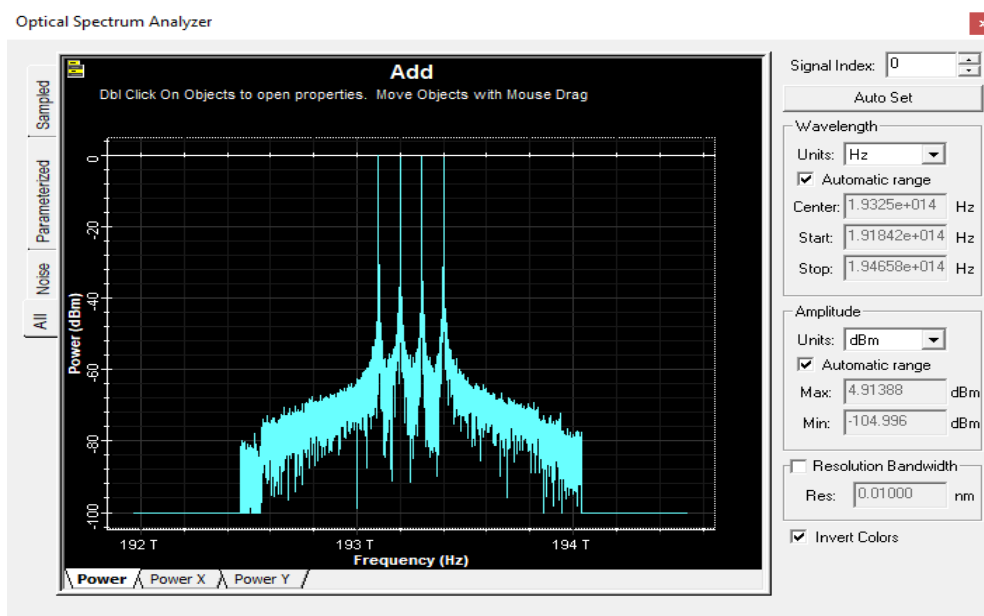


Figure 4.6 : Analyseur de spectre optique insertion des longueurs d'ondes.

À l'aide des démultiplexeurs optiques on extrait les longueurs d'onde, donc quatre longueurs d'onde qui ont été ajoutées avec des largeurs de ligne de 10 MHz ont été extraites, et la sortie de l'analyseur de spectre optique est comme montre la figure 7.

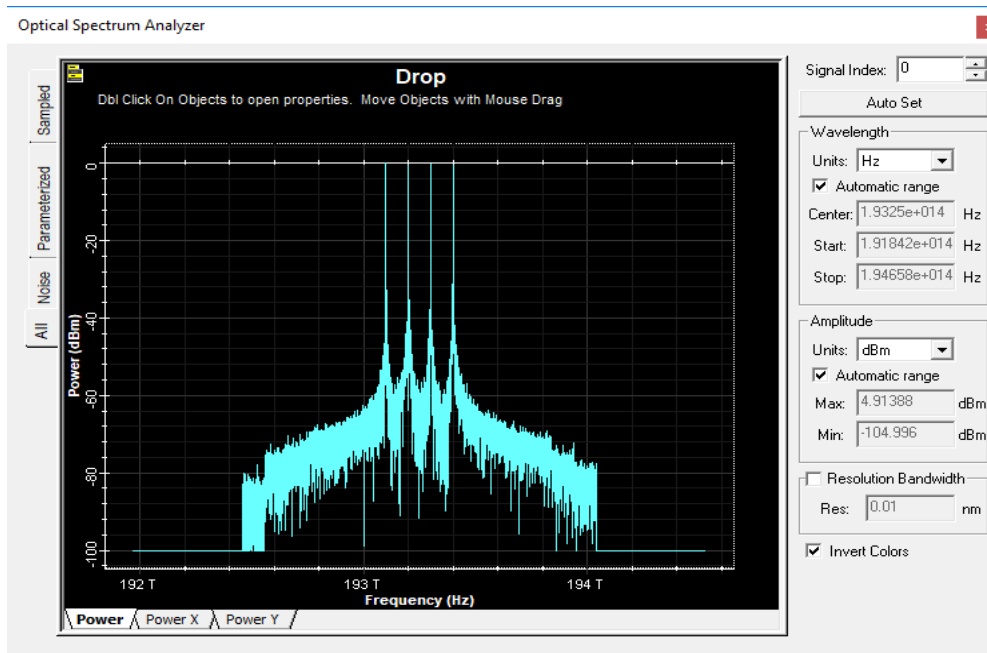


Figure 4.7 : Analyseur de spectre optique extraction des longueurs d'ondes.

Les longueurs d'onde qui ont été extraits contenaient une forme d'onde déformée en raison de la largeur de ligne (10MHz) fournie lors de l'ajout, cela nous assure que les longueurs d'onde qui ont été extraits sont les mêmes que celles ajoutées à l'aide de multiplexeurs optiques. La figure suivante montre la forme d'onde de sortie qui contient les fréquences d'origine qui ont été transmises au départ ou niveau de l'émetteur.

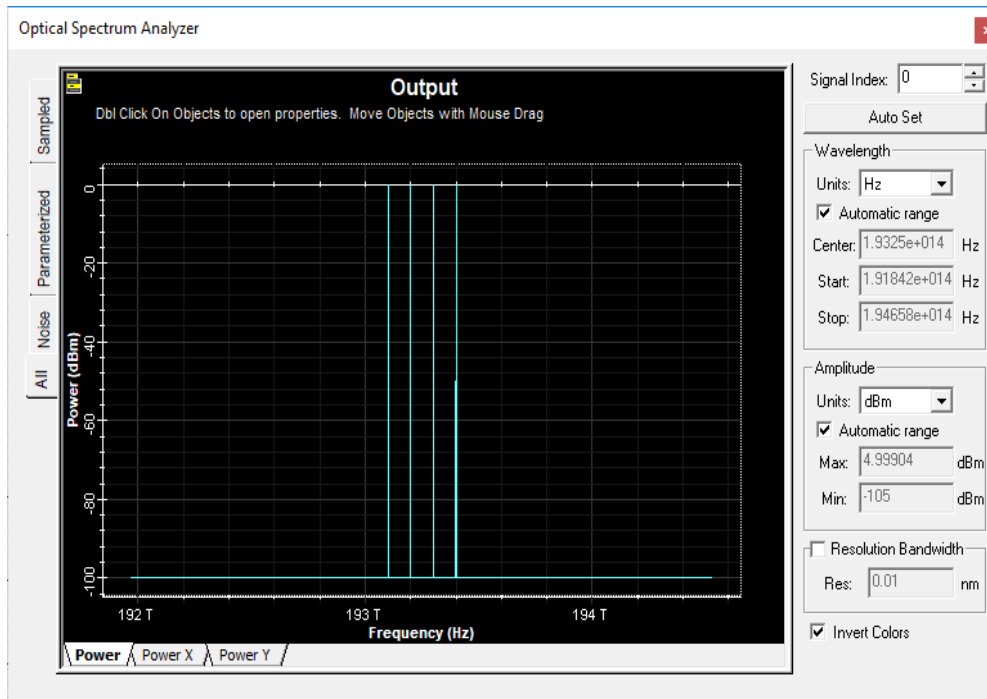


Figure 4.8 : Analyseur de spectre optique au niveau du récepteur.

On représente à chaque fréquence, leur valeur du gain, de bruit, et du SNR de sortie est extraite pour comparer les pertes suivantes :

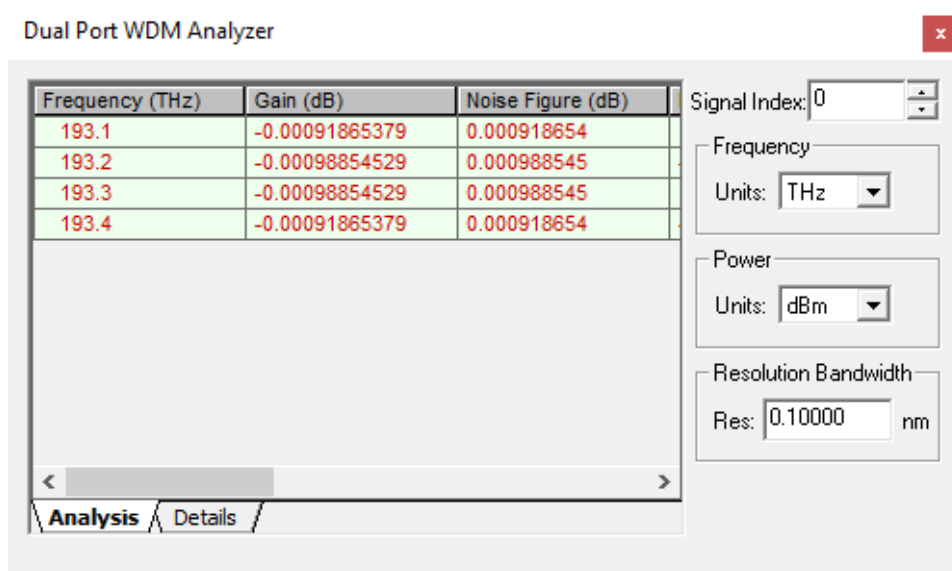


Figure 4.9 : Analyseur WDM double port entre l'entrée et la sortie.

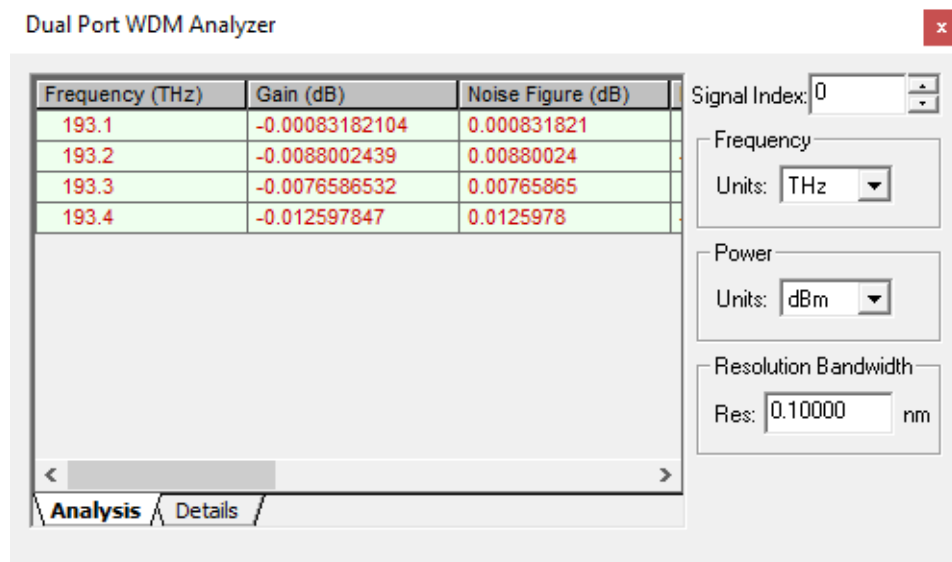


Figure 4.10 : Analyseur WDM double port entre l'entrée et après l'extraction Des longueurs d'ondes.

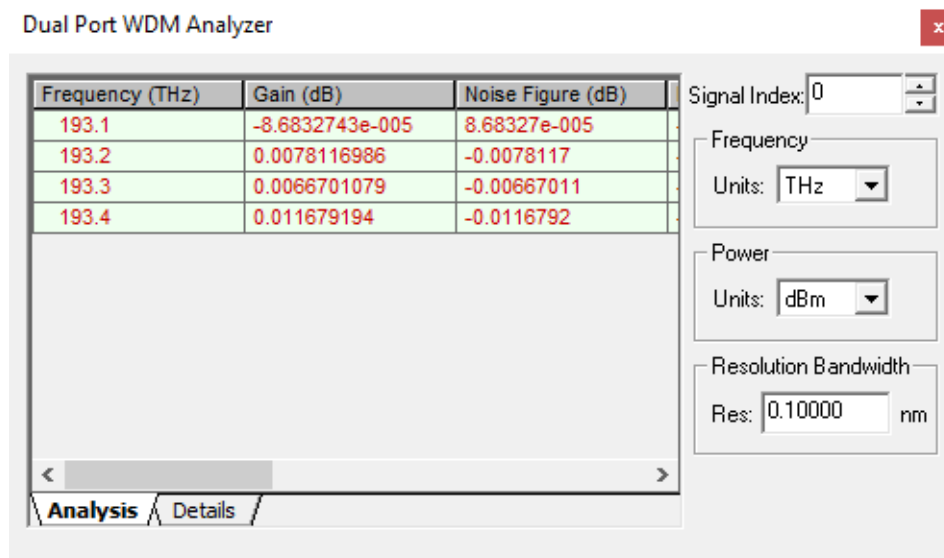


Figure 4.11 : Analyseur WDM double port entre le multiplexeur après insertion des longueurs d’ondes et la sortie.

Les informations des chaque fréquence est résumeras les tableaux suivant :

Paramètres	Entre l’entrée et la sortie	Entre l’entrée et après l’extraction des longueurs d’ondes.	Entre le multiplexeur après insertion des longueurs d’ondes et la sortie.
Gain (dB)	-0.00091865379	-0.00083182104	-8.6832743e-005
NF (dB)	0.000918654	0.000831821	8.68327e-005
OSNR	99.9991	99.9992	99.9991

Tableau 4.1. Les informations de fréquence 193,1.

Paramètres	Entre l'entrée et la sortie	Entre l'entrée et après l'extraction des longueurs d'ondes.	Entre le multiplexeur après insertion des longueurs d'ondes et la sortie.
Gain (dB)	-0.00098854529	-0.0088002439	0.0078116986
NF (dB)	0.000988545	0.00880024	-0.0078117
OSNR	99.9991	99.9992	99.9991

Tableau 4.2. Les informations de fréquence 193,2.

Paramètres	Entre l'entrée et la sortie	Entre l'entrée et après l'extraction des longueurs d'ondes.	Entre le multiplexeur après insertion des longueurs d'ondes et la sortie.
Gain (dB)	-0.00098854529	-0.0088002439	0.0078116986
NF (dB)	0.000988545	0.00880024	-0.007817
OSNR	99.999	99.9912	99.999

Tableau 4.3. Les informations de fréquence 193,3.

Paramètres	Entre l'entrée et la sortie	Entre l'entrée et après l'extraction des longueurs d'ondes.	Entre le multiplexeur après insertion des longueurs d'ondes et la sortie.
Gain (dB)	-0.00091865379	-0.012597847	0.011679194
NF (dB)	0.000918654	0.0125978	-0.0116792
OSNR	99.999	99.9923	99.999

Tableau 4.4. Les informations de fréquence 193.4.

On remarqué d'après des tableaux 1, 2, 3 et 4, que la valeur de gain diminue lors de l'ajout et de l'extraction des longueurs d'onde, on note également la stabilité de rapport OSNR a une valeur presque 100%.

- **Conclusion**

Grace à ce travail effectué dans le dernier chapitre, nous avons étudié le system ROADM utilisant le logiciel Optisystem.

Nous sommes commencés par présenter le programme et le system, ensuite nous exécutons la simulation et discutons des résultats.

Au final, les résultats obtenus montrent que l'utilisation de l'ROADM s'accompagne d'une diminution notable de la valeur de gain, et qu'il a également un rôle et flexible dans la gestion des réseaux optiques sans affecter leur qualité

Conclusion général

Les systèmes de télécommunication optique évoluent constamment à partir des composantes optiques jusqu'à la technique WDM et de celle-ci à l'ROADM, c'est ce que nous avons étudié en détail dans notre travail et ce que peut être conclu comme suit :

Le premier chapitre de ce mémoire a été consacré à des composantes optiques, chaque élément a des caractéristiques et des domaines d'utilisation spécifiques mais reste la diode laser et la photodiode à avalanche le plus efficace et le plus largement utilisé.

Dans le deuxième chapitre nous avons détaillé les différentes techniques de multiplexage, en particulier la technologie WDM qui permet le multiplexage de nombreux nombres de longueurs d'onde, permettant ainsi d'exploiter complètement la très large bande passante de la fibre optique et donc l'augmentation du nombre de canaux revient à l'augmentation du débit et à la minimisation des coûts.

Le troisième chapitre présente les routeurs optiques l'OADM et l'ROADM, nous avons étudié chacun, l'ROADM c'est un type de l'OADM, parmi les dernières découvertes des systèmes optiques, ce qui a fait l'objet de notre travail, la conclusion que l'on peut tirer est que

- ✓ le ROADM un dispositif reconfigurable et le plus important.
- ✓ Ils représentent la meilleure solution pour la gestion de réseaux optiques.
- ✓ Le coût de ces dispositifs reste relativement élevé.

Le dernier chapitre a été consacré à la simulation, nous avons décrit le logiciel OptiSystem, puis nous présentons notre schéma de système ROADM et les principes de ses blocs, ensuite nous avons simulé notre système, et à l'aide des analyseurs de spectre optique nous avons noté les paramètres de chaque analyseur (gain, bruit, et le rapport ONSR), enfin nous avons interprété les résultats obtenus.

Références bibliographie

- [1] VERNEUIL. J – L ; 2003 - « Simulation de system par fibre optique a 40Gbit/s ».
- [2] Dr. Hadj Ali BAKIR, «Communications optiques», Polycopié de cours destiné aux étudiants Master 2 en télécommunication, Université Hassiba Benbouali de Chlef, 2018-2019.
- [3] ABOUDKHIL, A.OUZZANI et B.SOUDINI, «communication optique-bruit de photodetection ».
- [4] Thanh Nam Nguyen, « Étude de composants optiques à base de fibre optiques non-linéaire », Pour obtenir le grade de Docteur de l'Université de Rennes I, 3 octobre 2008.
- [5] JAAFOURA KARIM, «Conception et caractérisation d'un ROADM à temps de commutation ajustable», École de technologie supérieure université du QUÉBEC, Juillet 2010.
- [6] BENNAT MOHAMMED, «Effet de la dispersion et de la modulation directe sur une liaison DWDM», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Abou-Bakr Belkaid-Tlemcen, Juin 2018.
- [7] N.BOUDRIOUA, «Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique vers une compensation électronique de la PMD», Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine, Metz, octobre 2007.
- [8] BOUBRIK NACER et CHAMEK SAID, «Etude et Applicationde la transmission SDH via fibre optique», UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, Année universitaire 2008/2009.
- [9] « <https://www.editions-eni.fr> ».
- [10] RICHARD Francis, «Etude des architecture optiques pour les réseaux local domestique, basées sur la fibre multimode (polymère et silice) et le multiplexage en longueur d'onde», thèse de doctorat en optoélectronique, université de Nantes, 27 Juin 2012.
- [11] «https://fr.nipponkaigi/wiki/Optical_switch#Operation ».
- [12] « www.telecom.samm.com /optical-switching ».
- [13] www.w12.pwr.wroc.pl > ...PDFFiber Optic Switches
De la transmission SDH via fibre optique, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, Année universitaire 2008/2009
- [14] « www.En.m.wikipedia.org ».
- [15] « www.rp-photonics.com ».

Références bibliographie

- [16] « www.provision-france.fr ».
- [17] Jlien Maury, « étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique » , thèse de doctorat, université de limoges, 2003.
- [18] « HUAWEI technologie CO.LTD, documentation interne : Optix WDM network design basics issue1.01, 2009 ».
- [19] Bennat Mohammed, « effet de la dispersion et de la modulation direct sur une liaison DWDM », Université Abou Berk Belkaid -Tlemcen ,2018.
- [20] M. DJELLOULI et A.HAMOUDA, « L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux des télécommunications » , Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université de Saïda -Dr Moulay Tahar, juin 2016.
- [21] «www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-WDM.html ».
- [22] «www.fiberlabs.com/glossary/about-wdm/».
- [23] M.ARRIBI, A.ELMAHI, «La technique WDM en télécommunications optiques avancées.», Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Mustapha Stambouli;Mascara, Juin 2016.
- [24] N.BOUDRIOUA, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique sur fibre optique vers une compensation électronique de la PMD », Thèse de Doctorat de l'Université Paul Verlaine, Metz, octobre 2007.
- [25] «<https://www.fs.com/cwdm-cost-effective-alternative-to-expand-network-capacity-aid-63.html> ».
- [26] Saad Samra et Obeidi Hadjer, « Etude et mise en service de technologie NG-DWDM au réseau télécom » ,Année universitaire 2019/2020 Université Abou Berk Belkaid , Tlemcen .
- [27] « Synthesis and characterization of fiber Bragg gratings » Johannes Skaar, these de doctorat, Institut of optical research Sweden, 2001.
- [28] Ole Henrik Waagaard « Filters », thèse de doctorat, Norwegian University of Science and Technology, 2006 ».
- [29] « https://campus.mines-douai.fr/pluginfile.php/13739/mod_resource/content/0/CH1_fr_mai_2013/co/cours_ch1_2_3_fr.html ».
- [30] « https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_Bragg ».

Références bibliographie

- [31] Jean-Louis VERNEUIL « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s », thèse doctorat UNIVERSITE DE LIMOGES 2003.
- [32] BEAUQUIER, B, 2000, « Communication dans les réseaux optiques par multiplexage en longueur d'onde » Es Sc. Informatique. Thèse de doctorat de NICE - SOPHIA ANTIPOLIS.
- [33] « www.cbo-it.de ».
- [34] « <http://m.fr.fibresplitter.com/info/getting-to-know-optical-circulator-49212923.html> ».
- [35] « 33coptics.com/News/13.html ».
- [36] « <https://community.fs.com/blog/oadm-vs-roadm.html> ».
- [37] GOVIND P. AGRAWAL, Applications of Nonlinear Fiber Optics, University of Rochester, Rochester, New York 2001».
- [38] «Les Fibres optiques, *Dossier technique*, Thème d'autonomie 1999».
- [39] S.BHATT ET S.JHAVERI, «A review of dense wavelength division multiplexing and next generation optical internet», International journal of engineering science and innovative technology (IJESIT), Mars 2013.
- [39] GEROME. F ; 2005 - «Conception et caractérisation de fibres compensatrices de dispersion chromatique pour application aux liaisons optiques WDM » Thèse de doctorat de l'Université de LIMOGES.
- [40] Sondes KHAMIR, " Génération d'impulsion optiques brèves 40 GHz par mélange a quatre ondes », PFE, Ecole Supérieur des Communications de Tunis, 2005.
- [41] David Massoubre « Composant passif à absorbants saturables sur InP pour la régénération tout-optique à très hauts-débits » Thèse de doctorat. Université Paris XI, UFR scientifique d'Orsay 2006.
- [42] Boumakh yassine, «Contribution à l'étude dispositifs composant dédiés aux réseaux a fibre optique reconfigurables», Université 8Mai 1945 , Guelma,Session.
- [43] Mathieu Lefrançois « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s » Thèse de doctorat. Université Paris-Sud.2007.
- [44] Frédéric Gérome «Conception et caractérisation de fibres compensatrices de dispersion chromatique pour application aux liaisons optiques WDM » Thèse de doctorat. Université de LIMOGES 2005.
- [45] « www.rfwireless-world.com/Terminology/Difference-between-ROADM-types.html ».
- [46] « <https://spie.org/news/0950-optical-add/drop-multiplexing-architecture-for-metro-area-networks?SSO=1> ».

- [47] Heavy reading report,
http://img.lightreading.com/heavyreading/pdf/hr20060927_esum.pdf, september 2006
- [48] Steve Robinson, « Ensuring profitability with a 3G ROADM system », <http://lw.pennnet.com>, Lightwave, may, 2006
- [49] ABOUDKHIL, A.OUZZANI et B.SOUDINI, « communication optique-bruit de photodetection ».
- [50] I.HADJERESE et I.NOURA, « Étude et simulation de la technique CDMA appliqué aux transmissions optiques utilisant les réseaux de Bragg », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université Djilali Bounaama-Khemis Miliana, Année 2016.
- [51] H.HAMMACHE, « Étude et simulation des pertes dans une liaison fibre optique avec application », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme master en télécommunication, Université A.Mira de Bejaïa, Année 2016.