

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة البليدة 1
Université de BLIDA 1

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Projet de Fin d'Études

présenté par

DJEHICHE HANANE

&

TABET YASMINE

pour l'obtention du diplôme master en Électronique option traitement de l'information et
systèmes électroniques

Thème

Etude et simulation d'un réseau optique de transmission DWDM d'un réseau dorsal (backbone)

Promoteur: Mr. Anou Abderrahmane

Co-promoteur: Mr.Saidi Tarek

Année Universitaire 2014-2015

REMERCIEMENTS

Nous remercions le bon dieu de nous avoir donné la volonté et la patience

Qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur

Mr Anou Abderrahmane pour nous avoir encadrés durant notre projet de fin d'étude Et nous conseillé tout le long de notre travail.

Au terme de ce travail, on tient à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères

Remerciements à mes tuteurs de stage à l'Algérie Télécom Mr Saidi Tarek pour tout le temps qu'ils m'ont consacré, leurs directives précieuses, et pour la qualité de leur suivi durant toute la période de notre stage.

On tient aussi à remercier vivement le chef du centre CRMET-BLIDA Mr.Bousmaha Yahia qui a accepté de nous accueillir en stage au sein de son organisme.

Nous remercions chaleureusement les membres du jury pour l'honneur qu'ils

Nous ont fait en acceptant d'évaluer notre travail.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants qui ont contribué

A notre formation.

Enfin, nos remerciements vont à toute personne ayant contribué, de près

Ou de loin, à réaliser ce travail.

Dédicaces

A ce qu'est toujours mon meilleur exemple dans la vie mon père, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il n'a cessé d'offrir.

Au symbole de douceur, de tendresse, d'amour et affection, et grâce au sens de devoir et aux sacrifices immenses qu'elle a consentis ma mère j'ai pu arriver à réaliser ce travail.

A ce qui m'a été toujours le garant d'une existence paisible et d'un avenir radieux mes sœur

A ce qui m'a souhaitée de la chance mon frère

A mes anges Lina, Saif, Mahdi, Mouhamed, et les jumelles Ritej et Arij

A ce qui m'a aidée à résoudre mes problèmes, m'a permis le savoir-faire au travail, ma famille

A celui qui est toujours dans mes pensées,

A ceux qui m'ont aidé, encouragé, apprécié mon effort et crée le milieu favorable,

L'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour me procurer ce travail,

A toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail avec mes vifs remerciements et les expressions respectueuses de ma profonde gratitude : Mes chères amies surtout Malika et Imane.

Hanane

DEDICACES

A mes très chers parents

Pour tout l'amour qu'ils me portent et pour leurs encouragements qu'ils m'ont apportés au cours de ce projet, je leur dédie ce travail en témoignage d'un grand amour et reconnaissance infinie, qu'ils trouvent ce travail en témoignage de ma profonde gratitude et mon infini dévouement.

A mes frères et ma sœur

Riad et Islam et Manel Pour votre soutien et encouragements, vous occupez une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, plein de bonheur et de succès.

A mes chers amis

Faiza et soumia et aicha et lyna et Tahar En souvenir de nos éclats de rire et des bons moments. En souvenir de tout ce qu'on a vécu ensemble. J'espère de tout mon cœur que notre amitié durera éternellement.

A tous ceux qui me sont chers

Yasmine

ملخص: يتميز مجال الاتصالات و الألياف البصرية حاليا بزيادة في الطلب من حيث القدرة على النقل و نحن نتطلع لمزيد من البيانات و التطبيقات الجديدة و الناشئة منها تقنية تجميع الأطوال الموجية المتفرقة و هي تقنية نقل خاصة بالنطاق الواسع كما انها ضرورية نظرا للمستخدمين عليها و هذه التقنية عبارة عن ادخال اطوال امواج متفرقة داخل ليف ضوئي واحد و عددها متعلق بالمسافة الفاصلة بينهما كما ان المسافة الاساسية تقدر ب 100 جيجا هرتز و هذا النوع يسمى تكثيف اخترنا اربعة اطوال موجية بسعة و تجميع اطوال الامواج المتفرقة و قد قمنا بالحاكاة في هذا المجال عن طريق برنامج « Optisystem » و قد 10 جيجا هرتز في نافذة خاصة ب 1.55 ميكرومتر

الكلمات الجوهرية: WDM, DWDM, SDH, MRF, الألياف البصرية, الطول الموجي

Résumé : Le domaine des communications par fibres optiques est actuellement caractérisé par une augmentation de la demande en termes de capacité de transmission. On cherche à transmettre de plus en plus de données et de nouvelles applications voient le jour. Le multiplexeur en longueur d'onde WDM (wavelength division multiplexing) est une technique de transmission vers les hauts débits qui sont devenues une nécessité vu la demande des utilisateurs. Le WDM est obtenue en injectant simultanément dans la même fibre plusieurs longueur d'onde, le nombre de ces dernières dépend de l'espacement entre elles avec un espacement fondamental de 100GHz et si l'espacement est inférieur à 0.1nm ce multiplexage est appelé DWDM (dense wavelength division Multiplexing). une simulation a été réalisée à l'aide du logiciel « Optisystem », On a choisie quatre canaux DWDM chaque canal de débit 10 Gb/s pour une fenêtre de 1.55µm.

Mots clés : WDM, DWDM, SDH, MRF, fibres optiques, Longueur d'onde.

Abstract : The field of optical communications is currently characterized by an crease in the demand in term of transmission capacity we look forward to more and more data and new applications are emerging, the wavelength division multiplexer WDM is a transmission technique to the broadband That have become a necessity given the demands of users. Le WDM is obtained by injecting simultaneously in the same wavelength several fiber the number of the latter depends on the spacing between them with a fundamental spacing of 100 GHz and if the spacing is less than 0,1 nm This is called multiplexing DWDM. A simulation was performed using the software OPTISYSTEM we selected four DWDM channels each flow channel 10Gbit/s, for a window of 1,55µm.

Keywords: WDM, DWDM, SDH, MRF, Optical fibers, Wavelength.

Listes des acronymes et abréviations

ATM	Asynchronous Transfer /Mode de transfert asynchrone
CA	Centre d'Amplification
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
D40	démultiplexeur à 40 λ
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing / Multiplexage dense en longueur d'onde
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier / Amplificateur à fibre dopée erbium
FDM	Fréquency division multiplexing
FIU	Fiber interconnections unit / Unité d'interconnexion de fibres
IL	Insertion loss
IP	Internet Protocol
ISO	International Organisation for Standardisation/ Organisation Internationale de standardisation
M40	multiplexeur à 40 λ
MRT	Multiplexage à répartition dans le temps
MUX	Multiplexer /Multiplexeur
OA	amplificateur optique
OADM	Optical Add/Drop Multiplexeurs / Multiplexeur a insertion extraction
OSI	Open System Interconnexion
OTDM	Optical Time Division Multiplexing /Multiplexage temporel optique
OTU	Optical Transponder Unit/ unité de transpondeur Optique
PDH	Plésiochrone Digital Hierarchy / Hiérarchie numérique plésiochrone
QoS	Qualité de Service
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Service
SDH	Synchrone Digital Hierarchy / Hiérarchie numérique synchrone
SONET	Synchronous Optical Network / Réseau optique synchrone
STM	Synchronous Transport Module / Module de transport synchrone
TCP	Transmission Control Protocol
TCP/ IP	Transmission Control Protocol/ Internet Protocol
U-DWDM	Ultra - Dense Wavelength / Division Multiplexing
WDM	Wavelength Division Multiplexing / Multiplexeur en longueur d'onde

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUME

LISTE DES ACRONYMES ET ABREVIATIONS

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre 1 GENERALITES SUR LES RESEAUX OPTIQUE.....	3
1.1 Introduction	3
1.2 Transmission optique	3
1.2.1 Définition.....	3
1.2.2 Description d'une liaison optique.....	4
1.2.3 Les supports de transmission.....	4
1.2.4 La fibre optique	5
1.2.5 Dispersion modale	11
1.2.6 Dispersion chromatique.....	12
1.2.7 Dispersion de polarisation	13
1.3 La technique de multiplexage.....	14
1.3.1 Principe.....	14
1.3.2 Les Technologies de transmission.....	15
1.4 SDH / SONET	17
1.4.1 L'arrivée du SDH	18
1.4.2 Les trames SDH.....	19
1.5 Conclusion.....	20
Chapitre 2 LA TECHNOLOGIE DE MULTIPLEXAGE DWDM	21
2.1 Introduction	21
2.2 Principes du multiplexage d'onde	21
2.3 Fonctionnement général de WDM	23
2.4. Comparaison des multiplexages TDM et WDM.....	23
2.5 Les conditions requises pour le WDM	24

2.6. Les composants spécifiques d'un réseau WDM.....	27
2.6.1 Les modulateurs (modulators).....	27
2.6.2 Les amplificateurs optiques (EDFA).....	27
2.6.3 Les convertisseurs (wavelength converter)	28
2.6.4 Les commutateurs de longueur d'onde (wavelength switch).....	29
2.7. Topologie des réseaux X	29
2.7.1 Topologie Point-à-Point	29
2.7.2 Topologie Linear-Add-Drop	29
2.7.3 Topologie en anneau (ring)	30
2.8. Les différentes technologies WDM.....	31
2.8.1 Les caractéristiques du D-WDM et de l'U-DWDM.....	31
2.8.2 Les caractéristiques du C-WDM	33
2.8.3 Combinaison CWDM/DWDM.....	34
2.9. Les réseaux DWDM.....	35
2.9.1 Principe et architecture DWDM.....	35
2.9.2 Commutation/routage DWDM.....	37
2.9.3 Applications du DWDM dans un proche avenir	38
2.9.4 Réseaux DWDM entièrement optiques et intégration de services	39
2.10 Conclusion.....	40
Chapitre 3 SIMULATION SOUS OPTISYSTEM	41
3.1 Introduction	41
3.2 Présentation du logiciel Optisystem	41
3.2.1 Interface OptiSystem.....	41
3.3 Les principaux avantages	43
3.4 Topologie du réseau DWDM	43
3.5 Calcule des puissances point à point	45
3.5.1 Calcule de puissance de la station B.....	46
3.5.2 Calcule de la puissance station C	48
3.6 Le modèle de la simulation.....	49
3.7 Simulation de la chaîne de transmission DWDM sous Optisystem	49
3.7.1 Partie émission	50
3.7.2 Partie ligne de transmission.....	51
3.7.3 Partie réception.....	52
3.7.4 Modèle globale de la simulation.....	53
3.8 Résultats de la simulation.....	53

3.8.1 Résultats de l'émission.....	53
3.8.2 Résultats de la ligne de transmission.....	54
3.8.3 Résultats de réception.....	54
3.9 Les Puissances optiques de chaque Nœuds.....	54
3.9.1 Les résultats réels.....	54
3.9.2 La puissance à chaque station.....	55
3.9.3 Exemples des services exploités sur le réseau.....	56
3.10 Comparaison.....	56
3.11 Conclusion.....	56
CONCLUSION GENERALE.....	58
ANNEXE.....	59
BIBLIOGRAPHIE.....	60
WEBOGRAPHIES.....	61

Liste des figures

Figure 1- 1: Schéma d'une liaison optique.	4
Figure 1- 2: Structure générale de la fibre optique.	6
Figure 1- 3: Fibre monomode.	8
Figure 1- 4 : Fibre multi mode à saut d'indice.	9
Figure 1- 5: Fibre multi mode à gradient d'indice.	9
Figure 1- 6: Effet de l'atténuation.	10
Figure 1- 7: Pertes de propagation de la fibre optique standard.	10
Figure 1- 8: Effet de la dispersion.	11
Figure 1- 9: Retard des modes.	11
Figure 1- 10: Courbe de la dispersion chromatique.	12
Figure 1- 11: Dispersion de polarisation.	13
Figure 1- 12: Multiplexage et démultiplexage.	15
Figure 1- 13: Les modes de transmissions.	15
Figure 1- 14: Multiplexage PDH.	17
Figure 1- 15: Structure de SDH.	18
Figure 1- 16: La trame SDH (STM-n).	19
Figure 2- 1: Répartition des sous-bandes WDM.....	22
Figure 2- 2: Transmission de données optiques.....	22
Figure 2- 3: Schéma de principe du multiplexage DWDM.	23
Figure 2- 4: l'architecture et fonctionnement d'un système WDM.....	27
Figure 2- 5: Le schéma d'amplificateur EDFA [4].	28
Figure 2- 6: Topologie Point-à-Point.	29
Figure 2- 7: Topologie Linear-Add-Drop.	30
Figure 2- 8: Topologie en anneau.....	30
Figure 2- 9: Peigne des fréquences en DWDM.	32
Figure 2- 10: Exemple d'architecture d'un lien DWDM à 10 Gbit/s.	33
Figure 2- 11: Combinaison CWDM/DWDM.	34
Figure 2- 12: Principe des communications optiques.....	36
Figure 2- 13: Principales composantes d'un réseau DWDM.	37
Figure 3- 1: Schéma de l'interface OptiSystem.....	42
Figure 3- 2: Schéma d'un photodétecteur.....	42
Figure 3- 3: Interface de définition du photodétecteur.....	42
Figure 3- 4: les trois stations DWDM.....	43
Figure 3- 5: le schéma de la station A.....	44
Figure 3- 6: schéma de la station B.....	44
Figure 3- 7: schéma de la station C.....	45
Figure 3- 8: liaison point à point.....	45

Figure 3- 9: L'architecture de la liaison de la station A.....	46
Figure 3- 10: Liaison point à point pour $N \lambda$	47
Figure 3- 11: L'architecture de la liaison de la station B.	48
Figure 3- 12: la configuration de longueurs d'ondes.....	49
Figure 3- 13: schéma de bloc de la transmission DWDM.	50
Figure 3- 14: les puissances d'entrée.	50
Figure 3- 15: la simulation du bloc émetteur.	51
Figure 3- 16: la simulation du bloc de transmission.....	52
Figure 3- 17: la simulation du bloc récepteur.	52
Figure 3- 18: Modèle de la simulation.	53
Figure 3- 19: Schéma d'une boucle de système DWDM.....	56

Liste des tableaux

Tableau 1- 1: Les niveaux Hiérarchiques PDH.....	17
Tableau 1- 2: Les niveaux hiérarchiques SDH.....	20
Tableau 2- 1: La longueur d'onde et la distance de la source.....	26
Tableau 2- 2: puissance de la source.....	26
Tableau 3- 1: résultats des calculs.....	46
Tableau 3- 2: les différentes puissances de chaque étape.....	48
Tableau 3- 3: les résultats de l'émission.....	53
Tableau 3- 4: Les résultats de la réception.....	54
Tableau 3- 5: Les puissances IN/OUT vers la station C.....	55
Tableau 3- 6: Les puissances IN/OUT vers la station B.....	55
Tableau 3- 7: Les puissances IN/OUT vers la station A.....	55
Tableau 3- 8: comparaison des Résultats réel et simulation.....	56

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les dernières décennies, les communications numériques ont pris de plus en plus d'importance. L'avènement de la téléphonie, de la télévision, des réseaux informatiques, de l'Internet, peut-être bientôt de la visioconférence,... a créé une nouvelle demande, une demande en bande passante. La fibre optique apparaît de nos jours comme la solution pour les transmissions haut-débit et très haut-débit. En effet le résultat des recherches les plus récentes permet de dépasser le Térabit/s dans une fibre de silice de 125 μm de diamètre.

Les premières années de l'optique sont marquées par des évolutions importantes :

- Le passage de la fibre multimode, utilisée dans les premières expérimentations, à la fibre monomode dont la connexion est plus problématique mais, qui propose des débits sans rapport avec la première. La fibre multimode conserve cependant sa pertinence dans d'autres domaines tels que l'aéronautique par exemple.
- Le passage successif de la première fenêtre de transmission autour de 850 nm (fibre multimode) à la deuxième autour de 1310 nm (minimum d'atténuation d'environ 0,3 à 0,4dB/km), puis à celle autour de 1550 nm (minimum d'atténuation de 0,2 dB/km), qui est la norme aujourd'hui en matière de réseau. Ces changements de fenêtre de transmission ont été rendus possibles par l'amélioration des techniques de fabrication des préformes et au développement des sources optiques.

L'avantage de la fibre optique par rapport au câble coaxial (augmentation du pas de régénération et donc diminution des répéteurs et des coûts de fabrication des lignes de transmission) va trouver un champ d'application dans le domaine des télécommunications très longues distances(en particulier dans les lignes de transmission sous-marines).

Enfin la véritable révolution technologique va se produire avec l'apparition du multiplexage en longueur d'onde ou WDM (pour Wavelength Division Multiplexing) permet de répondre à cette demande, tout en ayant le gros avantage d'exploiter les fibres existantes. Il consiste à injecter simultanément sur une même fibre plusieurs canaux utilisant des longueurs d'onde distinctes.

Le présent rapport est structuré en trois chapitres :

Le premier chapitre décrit les principales généralités sur la transmission par fibre optique et détaille l'ensemble des composants d'un système optique, tout en expliquant leur rôle et leurs limites de fonctionnement.

Le second chapitre : présente l'ensemble des techniques de multiplexage dans les systèmes de transmissions optiques particulièrement le multiplexage WDM (Wavelength

Division Multiplexing) ainsi que les différentes solutions pour augmenter la capacité totale d'un système WDM. Il présente également les différents composants nécessaires pour le multiplexage.

Le dernier chapitre : Pour bien montrer la transmission en DWDM on fait une étude et simulation sous logiciel OptiSystem, pour une liaison entre deux wilaya de distance de 53Km, nous avons choisi quatre canaux chaque canal de débit 10Gb/s, et une fenêtre de 1.55 μ m. Pour cela une brève présentation du logiciel de simulation utilisé qui est l'Optisystem et enfin nos résultats et interprétation de la simulation.

Enfin, une conclusion générale est présentée, avec quelques perspectives de ce travail.

1.1 Introduction

Dès l'année 1959, les études de physique relatives à l'optique donnent lieu à une nouvelle utilisation de la lumière, appelée rayon laser, qui était très utile pour les transmissions d'information à grande vitesse. Cependant, cette utilisation du laser était très limitée à cause de l'inexistence des canaux physiques pour la transmission des signaux optiques produits à partir de la source laser. À partir de ce moment, les spécialistes en optique commencent à chercher un canal physique pour ce type de transmissions. Grâce à ces efforts apparaît l'idée d'utiliser un guide optique pour la communication.

C'est en 1970 que les premières fibres optiques sont développées. A cette même époque, apparaissent aussi les premières diodes laser. L'histoire des communications sur fibre optique naît en 1977 quand le premier système expérimental est construit en Angleterre. Deux années plus tard, il y avait déjà un produit commercial avec beaucoup de succès [1].

1.2 Transmission optique

1.2.1 Définition

La transmission optique fait son étude sur la propagation de la lumière en lieu et place de la propagation des ondes radioélectriques et exige un support de transmission spécial dit "Fibre optique".

La fibre optique est un guide diélectrique, filiforme, translucide permettant la transmission de la lumière. Elle est fabriquée avec le matériau en verre de quartz ou en silice extrêmement pur avec adjonction de bore, de phosphore ou de germanium. Les fibres sont placées dans un tube de protection puis réunies en un câble à plusieurs fibres armées d'acier pour supporter l'attraction ; elles ont un diamètre de cœur de plusieurs dizaines à plusieurs centaines de micromètre [7].

1.2.2 Description d'une liaison optique

L'architecture d'une liaison optique est décrite par la figure 1-1, Dans cette liaison le signal optique est émis, transporte, régénère (s'il y a lieu) et détecté aux moyens de composants optiques ou optoélectroniques.

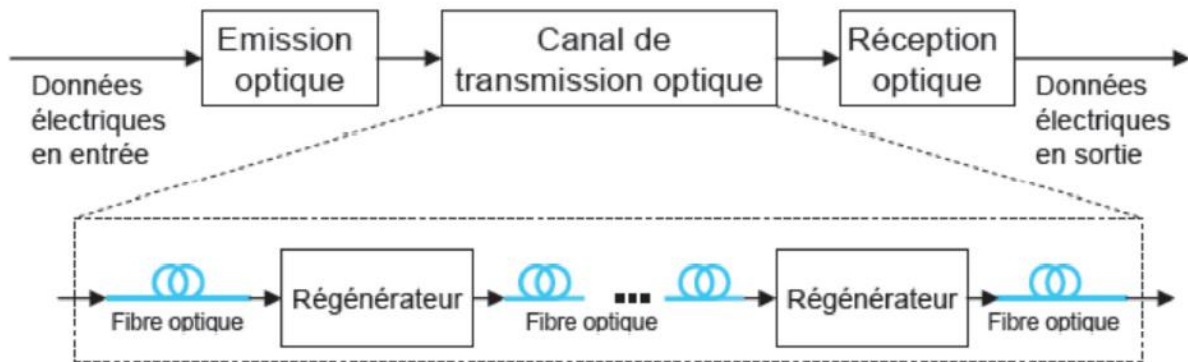


Figure 1- 1: Schéma d'une liaison optique.

La partie émission optique est constituée d'une diode électroluminescente (DEL) ou une diode laser (DL) qui a pour rôle de transformer le signal électrique en signal optique. En suite le canal de transmission (la fibre optique) transporte une porteuse optique modulée contenant l'information. En fin le récepteur (photo détecteur) convertit le signal optique reçu en signal électrique

1.2.3 Les supports de transmission

Pour transmettre des informations d'un point à un autre, il faut un canal qui servira de chemin pour le passage de ces informations. Ce canal est appelé canal de transmission ou support de transmission. En réseau informatique, téléinformatique ou télécoms, on distingue plusieurs sortes de support de transmission. Parmi ceux-ci, on distingue :

- Les câbles à paires torsadées (Câble concéder),
- Les câbles coaxiaux,
- Les câbles à fibre optique (Câble concéder),
- Les liaisons hertziennes.

1.2.4 La fibre optique

a. Historique

En 1841, le physicien Suisse Daniel Colladon démontrait qu'on pouvait contenir et guider de la lumière à l'intérieur d'un mince filet d'eau. Peu après, les mêmes expériences furent réalisées avec des tuyaux de verre, ensuite de quartz. L'idée d'avoir une trajectoire curviligne de la lumière, par le guidage, marqua un grand pas vers les télécommunications modernes. Cependant, il faudra attendre les années 50 pour voir des études sérieuses dans la transmission d'informations et d'images par la fibre optique. L'avènement du laser, source monochromatique et puissante, permet le guidage de la lumière dans des fibres optiques sur de grandes distances et le développement des télécommunications optiques.

Aujourd'hui, la fibre optique est le support des télécommunications transcontinentales [2].

b. Définition

D'une manière très générale, la fibre optique se présente sous forme d'un cylindre de verre de quelques centaines de micromètres. Une fibre optique est constituée d'un milieu diélectrique interne, (en silice) où sera confinée la plus grande part de l'énergie lumineuse véhiculée dans la fibre et que l'on appelle le cœur. Celui-ci est entouré d'un second milieu d'indice de réfraction plus faible (également en silice), appelé la gaine. Enfin, cet ensemble peut à son tour être entouré de couches concentriques de matériaux généralement plastiques destinés lui fournir une protection et une meilleure résistance mécanique. Pour ce faire, le cœur et la gaine sont fabriqués de telle sorte qu'ils disposent d'indices de réfractifs différentes. L'indice de réfraction d'un matériau correspond au rapport donné par l'équation (1.1):

$$n = \frac{c}{v} \quad (1.1)$$

Où c est la vitesse de la lumière dans le vide ($c = 299\,792\,458$ Km/s) et v est la vitesse de la lumière dans le matériau étudié. On obtient ainsi une valeur supérieure à 1 et plus cette valeur est grande, plus la vitesse dans le matériau étudié est faible. Pour que les photons ne s'échappent pas de la fibre, l'indice de réfraction du cœur doit être plus grand que l'indice de réfraction de la gaine [3].

c. Structure générale de la fibre optique

La fibre optique qui se présente comme un fil fin de verre et en réalité constituée d'un cœur cylindrique en matériau transparent d'indice de réfraction n_1 , entouré d'une gaine concentrique constituée d'un matériau ayant un indice de réfraction n_2 inférieur à n_1 . Le diamètre du cœur varie de 8-10 μm à 62,5 μm selon le type de fibre. Celui de la gaine est de l'ordre de 125 μm . Les valeurs typiques d'indices de réfraction pour le cœur $n = 1.48$ et pour la gaine $n = 1.46$

- Cœur (1) : Milieu diélectrique intérieur, conducteur de la lumière ou sera confiner la plus grande partie de l'énergie lumineuse véhiculée dans la fibre d'indice de réfraction n_1 ,
- Gaine (2) : Entoure le cœur d'un milieu diélectrique, d'indice de réfraction n_2 plus faible. Les pertes des rayons lumineux se produisent dans la gaine,
- Revêtement de protection (3) : Assure une protection mécanique de la fibre [4].

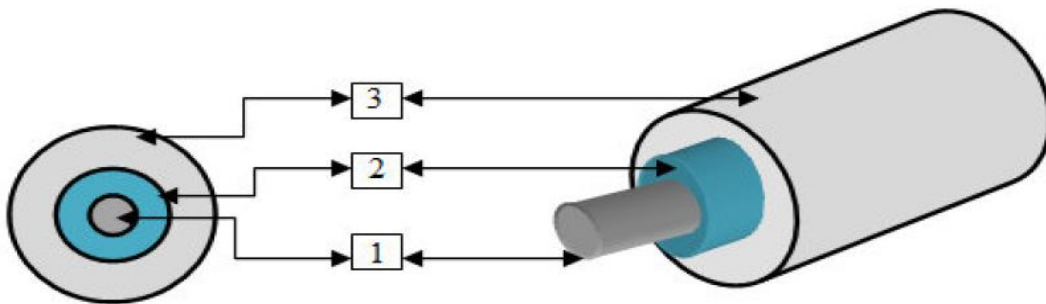


Figure 1- 2: Structure générale de la fibre optique.

d. Fabrication

L'impact des fibres optiques dans notre système de communication est stupéfiant. Beaucoup se sont demandés comment ces fibres optiques sont faites : plusieurs étapes sont impliquées dans la conception telles que la fabrication de la préforme en silice ainsi que l'étirage de la fibre.

Le verre optique

Le verre optique, qui remplace le cuivre des câbles, est un verre en silice ultra-pur qui peut être étiré en très fines fibres pour permettre la transmission d'informations sur de longues distances. Ces fibres sont composées d'un noyau intérieur (appelé cœur) contenant un indice

de réfraction élevé qui permet de transmettre la lumière. Les fibres optiques sont conçues grâce à une préforme cylindrique en barreau de silice.

La préforme en silice

Une préforme est un cylindre en verre qui peut mesurer un mètre de longueur et quelques centimètres de largeur. Elle servira à fabriquer le cœur de la fibre ainsi que la gaine optique.

Le processus de déposition en phase vapeur modifié, utilisé pour produire des matériaux de très haute performance, est aussi utilisé pour réaliser la préforme. Ce processus automatisé permet un rendement de production élevé et bien adapté à la fabrication de câbles longue distance. Pour augmenter l'indice de réfraction de la préforme, on insère des produits chimiques dopants puis on restreint la préforme en la chauffant pour refermer le barreau de silice. Une fois la préforme fabriquée, elle passe au contrôle qualité et placée dans un four pour passer à la phase d'étirage de la fibre.

L'étirage de la fibre à partir de la préforme

La tour d'étirage dans laquelle va être placée la silice fonctionne à des températures entre 1900 et 2200°C. La machine va tirer la préforme pour obtenir des fibres de verres très fines qui seront enroulées sur une bobine. Pendant l'étirage, le verre sera soumis à un test de diamètre. Ensuite, les fibres seront enrobées par d'un revêtement de protection, se verront attribuer un numéro d'identification unique et seront regroupées pour pouvoir finalement être emballées dans des gaines isolantes. Une fois la fabrication terminée, il faudra tester leur débit, la résistance à la traction, la température de fonctionnement, l'indice de réfraction, la géométrie de fibre, l'atténuation, la dispersion chromatique et autres indicateurs de fonctionnement. Par ailleurs, la fibre va aussi être testée pour connaître sa capacité de conductivité si elle est utilisée dans des applications sous-marines.

e. Types de fibres optiques

Suivant les modes de propagations qu'elles utilisent, les fibres optiques peuvent être classées en 3 catégories [7]:

- Les fibres monomodes,
- Les fibres multimodes à saut d'indice,
- Les fibres multimodes à gradient d'indice.

e.1 Fibre monomode

Les fibres monomodes figure 1-3, possèdent un cœur très fin, d'une très petite taille. Le fait que le cœur soit si fin va obliger le signal lumineux à se propager en ligne droite, de ce fait, il ne rencontre pas la gaine et n'est donc pas perturbé, et par conséquent une dispersion modale pratiquement nulle. Les fibres monomodes sont destinées pour des transmissions à longue distance, elles sont utilisées à la longueur d'onde 1550 nm possèdent un diamètre de cœur extrêmement fin (8 à 10 μm en général), faible par rapport au diamètre de la gaine (125 μm) et proche de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière injectée. Bande passante très élevée de l'ordre du téra hertz au km, Atténuation très faible 0.5dB/km à 13um et 0.2dB/km à 1.5um raccords très délicats. Utilisée essentiellement par des opérateurs des télécommunications. Actuellement des liaisons de 100 à 300 km sans répéteurs sont possibles [5].

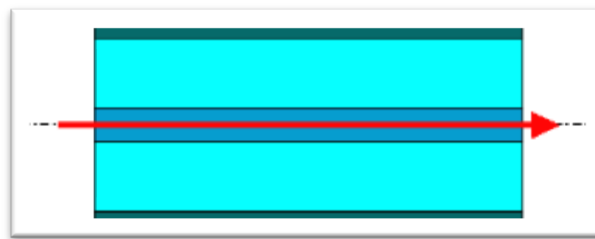


Figure 1- 3: Fibre monomode.

e.2 Fibre multimodes à saut d'indice

Dans les fibres à saut d'indice figure 1-3, un grand nombre de rayons lumineux se propage par réflexion totale. Le nombre de rayons est fonction de l'angle d'incidence de la lumière. La réflexion totale est assurée par les valeurs des indices de réfraction n_1 (cœur) et n_2 (gaine) avec toujours $n_1 > n_2$. Les fibres multimodes à saut d'indice sont destinées pour des transmissions courtes distances de 10 Gbit/s sur une distance de 300 mètres, elles utilisent les longueurs d'onde 850 nm et 1300 nm.

Diamètre du cœur 50 μm ou 62.5 μm le plus souvent, gaine 1,25 μm .

Ouvert numérique 12°.

Bande passante : 60MHz.km.

Atténuation faible : 3dB/km à saut 0,85um [4].

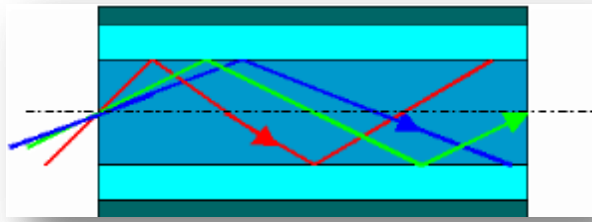


Figure 1- 4 : Fibre multi mode à saut d'indice.

e.3 Fibre multimodes à gradient d'indice

Dans les fibres à gradient d'indice figure 1-5, le cœur est constitué de couches de verre successives ayant un indice de réfraction proche. Ainsi, l'indice décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur / gaine. On s'approche d'une égalisation des temps de propagation, ce qui signifie que l'on a réduit la dispersion modale. Tous les rayons sont refocalisés au centre de la fibre, l'atténuation et l'élargissement du signal sont beaucoup plus faibles que dans la fibre à saut d'indice.

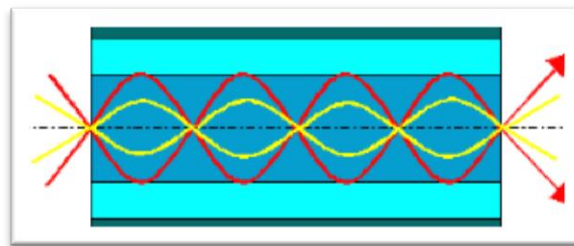


Figure 1- 5: Fibre multi mode à gradient d'indice.

Les caractéristiques de la Fibre multi mode à gradient d'indice sont :

- Diamètre du cœur : 50um ou 62,5um, gaine de 125um,
- Bande passante : plusieurs GHz/km,
- Atténuation : 3 dB/km à 0,85 à 1,3um.

Les fibres à gradient d'indice sont très utilisées pour des distances moyennes [5].

L'atténuation

L'atténuation dans les fibres optiques caractérise l'affaiblissement du signal au cours de sa propagation décrit par la figure 1-6 et elle est définie en dB/km par la relation (2):

$$A = \frac{10}{L} \log \left[\frac{P_{in}}{P_{out}} \right] \quad (1.2)$$

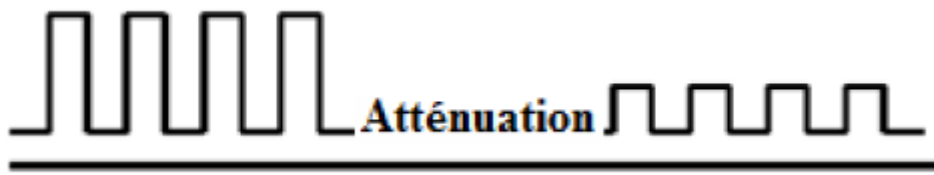


Figure 1- 6: Effet de l'atténuation.

Au cours de la propagation la puissance décroît selon la loi suivante :

$$P(z) = P_{in} e^{-\alpha z} \quad (1.3)$$

Où α est le coefficient d'atténuation (Neper/m).

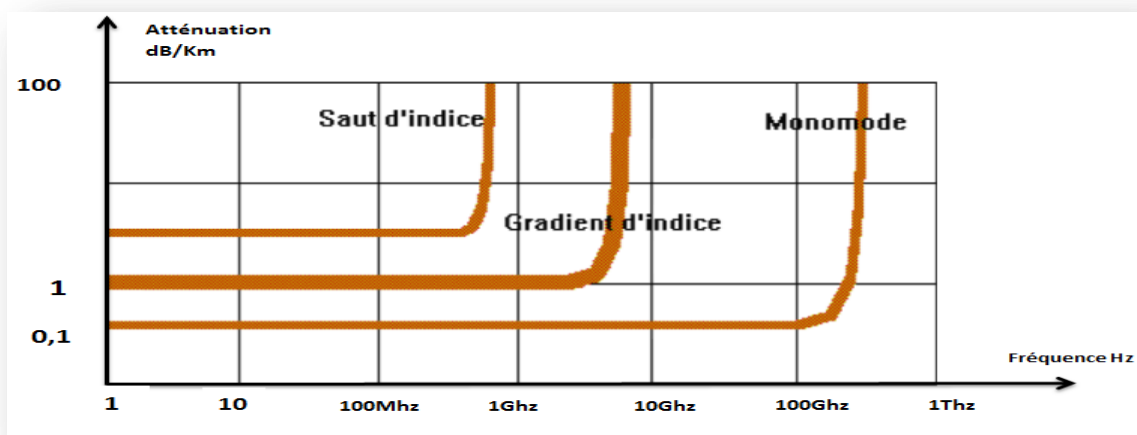


Figure 1- 7: Pertes de propagation de la fibre optique standard.

L'atténuation de la fibre optique (en silice) est liée à plusieurs causes. D'une part, la lumière est partiellement absorbée par la matière dans l'infrarouge et dans l'ultra-violet. Par ailleurs, une quantité résiduelle d'eau, incorporée sous forme d'ions OH⁻ au cours de la fabrication, peut être responsable d'un pic d'atténuation, bien visible sur la figure 1.7 au voisinage de 1.4 μm . Par ailleurs, Les inhomogénéités de matière (matrice de silice), sont responsables d'une diffusion partielle de la lumière, appelée diffusion Rayleigh.

La courbe de la figure 1-7 fait apparaître des longueurs d'onde privilégiées. Au voisinage de $\lambda=1.31 \mu\text{m}$, on note la présence d'un minimum relatif des pertes de propagation, tandis qu'au voisinage de $\lambda=1.55 \mu\text{m}$, les pertes sont les plus faibles. C'est la raison pour laquelle les

télécommunications par fibre optique s'effectuent principalement autour de cette dernière longueur d'onde (1.55 μm). L'atténuation est alors de l'ordre de 0.2 dB/Km, ce qui signifie que la lumière peut parcourir 100 Km avant que son niveau de puissance ne soit divisé par 100 [5].

La dispersion

La dispersion se manifeste par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation figure 1-8.



Figure 1- 8: Effet de la dispersion.

Il existe plusieurs causes responsables de l'élargissement des impulsions lumineuses : On distingue deux types de dispersion : modale et chromatique [5].

1.2.5 Dispersion modale

Elle provient du fait que les différents modes d'une fibre multimodes ont leur vitesse de groupe propre et donc au bout d'un certains temps de propagation, les différents modes seront décalés les uns par rapport aux autres.

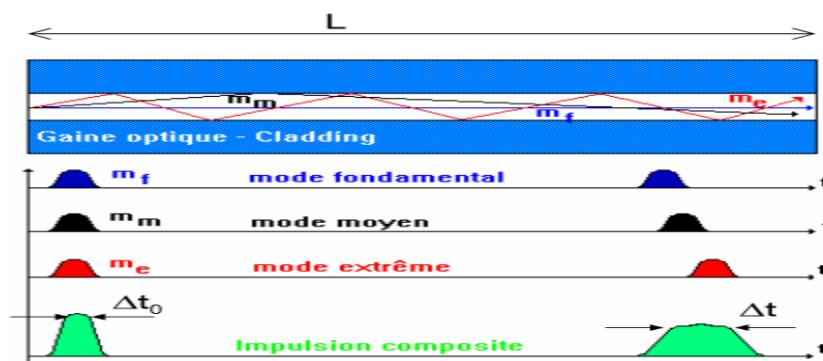


Figure 1- 9: Retard des modes.

Si on considère deux modes figure 1-9, au bout d'une certaine longueur de la fibre, un mode sera en retard sur l'autre.

1.2.6 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est la somme d'un terme de matériau pur (dispersion matérielle) et d'un terme du guidage de l'onde (dispersion de guidage).

a. Dispersion matérielle

L'élargissement est causé par le fait que l'indice de réfraction du verre n'est pas le même pour toutes les longueurs d'onde. Cette dispersion existe dans toutes les fibres optiques quel que soit monomode ou multimodes, et elle est très petite à la longueur d'onde d'environ 1300 nm.

b. Dispersion de guidage

L'élargissement est causé par le fait que la constante de propagation du guide dépend de la longueur d'onde.

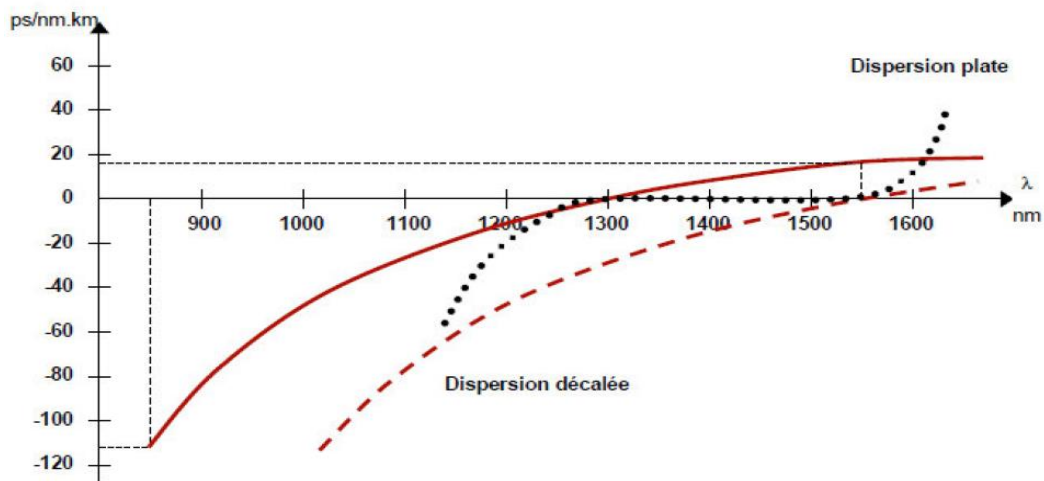


Figure 1- 10: Courbe de la dispersion chromatique.

La Figure 1-10, montre la courbe de la dispersion chromatique en (ps/nm.km), en fonction de la longueur d'onde λ en (nm). Calée sur les fenêtres de transmission actuelle, dans la silice et sur les régions proches de l'infrarouge, la dispersion est : négative aux longueurs d'onde courtes, nulle à la longueur d'onde à peu près de 1,3 μm , et positive aux longueurs d'onde plus larges.

Dans une fibre monomode standard, le coefficient de dispersion chromatique est à peu près de 4 ps/nm.km à une longueur d'onde de 1,3 μm , et à peu près de 17 ps/nm.km à une longueur d'onde de 1,55 μm . La dispersion du guidage dépend de la géométrie du matériau de la fibre.

Dans la pratique, il est possible d'ajuster ce type de dispersion pour compenser la dispersion du matériau et ainsi obtenir des fibres optiques à dispersion décalée dans lesquelles le zéro de dispersion se trouve à $1,55 \mu\text{m}$. Il est également possible d'obtenir des fibres optiques à dispersion plates, qui présentent une dispersion faible dans l'intervalle de longueur d'onde entre $1,3 \mu\text{m}$ et $1,55 \mu\text{m}$.

1.2.7 Dispersion de polarisation

Dans l'absolu, on ne réalise pas de fibre parfaite, le problème auquel nous nous intéressons ici est la polarisation de la lumière dans la fibre. En principe, la polarisation dans une fibre parfaitement circulaire ne devrait pas évoluer le long de la fibre. Un petit tronçon de fibre apparaît généralement comme une lame biréfringente avec un mode dit rapide et un mode dit lent qui a des polarisations rectilignes orthogonales. De plus, dans une fibre réelle, cette biréfringence et la direction des axes propres varient constamment et de manière incontrôlée, la polarisation devient alors rapidement imprévisible. Ce phénomène est dû à la non-symétrie de la 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 (non-homogénéité de l'indice). Les causes extrinsèques peuvent être dues à un écrasement, un étirement, une torsion ou une courbure de la fibre. Ceci induit un effet photo-électrique, d'où une biréfringence et une polarisation variable. Quand on envoie un signal sur une fibre biréfringente, sans se soucier de sa polarisation, on excite les deux modes à la fois. Chacun d'entre eux a sa propre vitesse de propagation. Ce décalage des temps de propagation de groupe a effet le dédoublement du signal à la sortie de la fibre, et donc un brouillage de l'information.

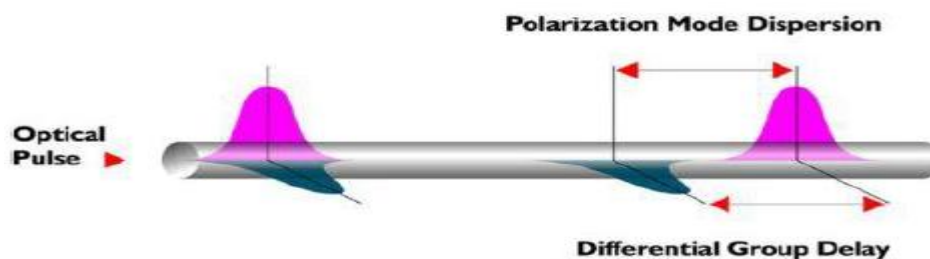


Figure 1- 11: Dispersion de polarisation.

e. Les avantages

Les avantages sont nombreux. L'avantage décisif n'est pas toujours le même suivant l'utilisation envisagée. On peut classer ces avantages en [7]:

- Faible atténuation: la fibre optique a une atténuation moins importante que les conducteurs électriques, ce qui permet de transmettre des informations sur de plus longues distances en nécessitant moins de répéteurs,
- Grande bande passante: la fibre optique permet d'atteindre des capacités de transport bien plus élevées que le cuivre,
- Les bandes passantes typiques sont de 200 à 600 MHz.km pour des fibres multimodes, et > 10 GHz.km pour des fibres monomodes, comparées à 10 à 25 MHz.km pour des câbles électriques usuels,
- Insensibilité aux perturbations électromagnétiques: les fibres optiques sont immunes aux parasites électromagnétiques, et elles-mêmes n'émettent aucune radiation,
- Liaison non détectable: les câbles à fibre optique étant dans la plupart des cas totalement diélectriques, ils sont transparents vis à vis de tous types de détecteurs,
- Isolation électrique: les fibres optiques permettent d'effectuer des transmissions entre points de potentiels électriques différents, et au voisinage d'installations à haute tension,
- Taille et poids réduits: pour faire passer une quantité d'informations équivalente, le volume et la masse de câble à fibre optique à utiliser sont bien moindres qu'en câble électrique.

f. Les inconvénients

Les inconvénients de la fibre optique sont [7] :

- Dérivations difficiles,
- Difficultés sur le multiplexage de l'onde,
- Coût d'exploitation élevé.

1.3 La technique de multiplexage

1.3.1 Principe

Le multiplexage consiste à faire circuler plusieurs informations entre divers équipements sur un seul canal de transmission. L'utilisation du multiplexage va permettre :

- une simplification du câblage,
- Une possibilité de communication des équipements entre eux (enrichissement des fonctions),

- Une réduction du nombre de capteur par le partage des informations délivrées ou calculées.

Il existe deux techniques principales de multiplexage : temporelle et fréquentielle (ou, ce qui revient au même, en longueur d'onde). On appelle multiplexage, la capacité à transmettre sur un seul support physique (appelé voie haute vitesse), des données provenant de plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs), on parle alors de voies basse vitesse.

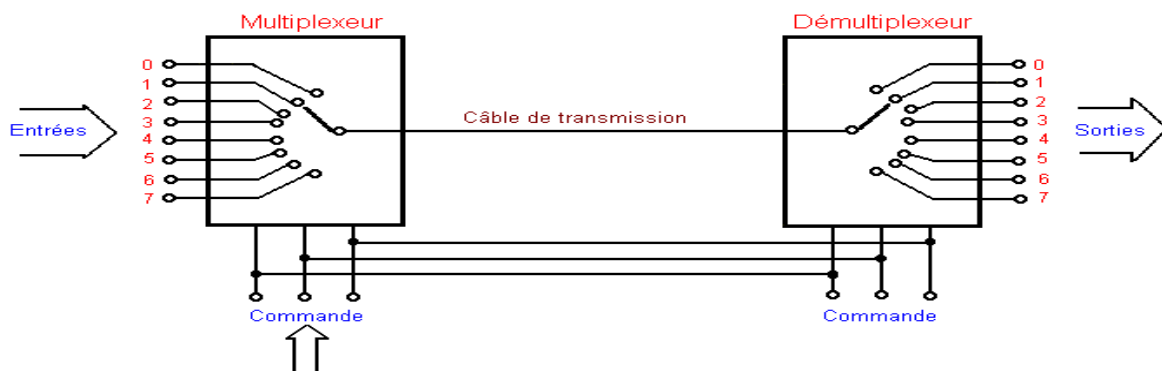


Figure 1- 12: Multiplexage et démultiplexage.

On appelle multiplexeur, l'équipement de multiplexage permettant de combiner les signaux provenant des émetteurs pour les faire transiter sur la voie haute vitesse. On nomme démultiplexeur l'équipement de multiplexage sur lequel les récepteurs sont raccordés à la voie haute vitesse.

1.3.2 Les Technologies de transmission

Le réseau de transmission fournit les capacités de transport des multimédia générées par les réseaux de commutation : IP, ATM, RTC, GSM, etc. CA de Blida exploite essentiellement trois types de technologies sont considérées pour la transmission :

1. PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy).
2. SDH (Synchronous Digital Hierarchy).
3. D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).



Figure 1- 13: Les modes de transmissions.

1.4 PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy)

Télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec plesio (proche) et chronos (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments pratiquement mais non parfaitement synchronisés : ils ont un même débit nominal pour toutes les artères du même type mais ce débit diffère légèrement en fonction de l'horloge de traitement local. Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s (E1). Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation (MIC). Chaque canal peut contenir une ligne téléphonique ou 12 télégraphes. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle. Le débit exact des données dans le flux de 2 Mbit/s est contrôlé par une horloge dans l'équipement générant les données. Le débit exact varie légèrement autour de 2 048 kbit/s. Afin d'amener plusieurs flux de 2 Mbit/s d'un point à un autre, ils sont combinés par multiplexage en groupes de quatre. Cette opération consiste à prendre 1 bit du flux #1 suivi d'un bit du #2, puis le #3 et enfin le #4. L'équipement émetteur ajoute également des informations permettant de décoder le flux multiplexé.

Comment relier tout ça à un équipement PDH ?

Pour relier tous ces lignes à des canaux on a besoin de les organiser à l'aide d'un répartiteur. Chaque flux de 2 Mbit/s n'étant pas nécessairement au même débit, des compensations doivent être faites. L'émetteur combine les quatre flux en assumant qu'ils utilisent le débit maximum autorisé. Occasionnellement le multiplexeur essaiera donc d'obtenir un bit qui n'est pas encore arrivé ! Dans ce cas, il signale au récepteur qu'un bit est manquant ce qui permet la reconstruction des flux à la réception. La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s.

Ces débits sont nommés E_i avec :

- E_1 correspondant à 2 048 kbit/s,
- E_2 correspondant à 8 Mbit/s,
- E_3 correspondant à 34 Mbit/s,
- E_4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé). La figure suivante représente l'architecture spéciale de PDH,
- E_5 correspondant à 565 Mbit/s (une norme non normalisée utilisée par certains fournisseurs).

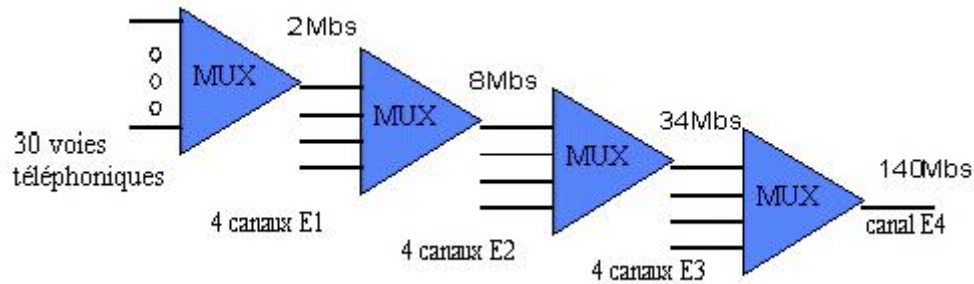


Figure 1- 14: Multiplexage PDH.

Format Européenne		Format Américaine	
E1	2 048 Kbs	T1	1 544 Kbs
E2	8 448 Kbs	T2	6 312 Kbs
E3	34 368 Kbs	T3	44 736 Kbs
E4	139 264 Kbs	T4	97 728 Kbs

Tableau 1- 1: Les niveaux Hiérarchiques PDH.

Algérie Telecom utilise un système de version Européenne.

Avant les années 90, le réseau de transmission des opérateurs était basé sur une hiérarchie plésiochrone. Mais l'un des inconvénients de ce mode de transmission est :

Le multiplexage bit par bit de la trame numérique plésiochrone car lors du multiplexage on introduit des signaux de justification et de bourrage de trame, ce qui ne permet pas l'accès au niveau inférieur sans démultiplexage, un deuxième inconvénient est l'absence de normalisation au niveau du C.C.I.T.T, ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux.

- Encombrement, débit max 565 bits/s,
- Lorsqu'il faut extraire un canal de 2 Mbps d'un multiplexeur à 140 Mbps, trois opérations de démultiplexage sont nécessaires qui entraînent une perte d'efficacité (application sous HARD).

Ces inconvénients nous permettent de basculer à une autre technologie SDH.

1.4 SDH / SONET

Les sigles "SONET" et "SDH" sont mis pour "Synchronous Optical Network" et pour « Synchronous Digital Hierarchy ». Ces termes désignent des ensembles de protocoles reliés à l'utilisation de la fibre optique dans les réseaux.

La hiérarchie numérique synchrone (SDH) est la version Européenne (c'est à dire répondant aux attentes des Européens) du réseau optique synchrone (SONET) qui est un protocole

d'origine américaine. Pour la norme SONET, les niveaux sont classés en OC : Optical Contener. Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n). La hiérarchie de la norme SDH correspond à celle de SONET.

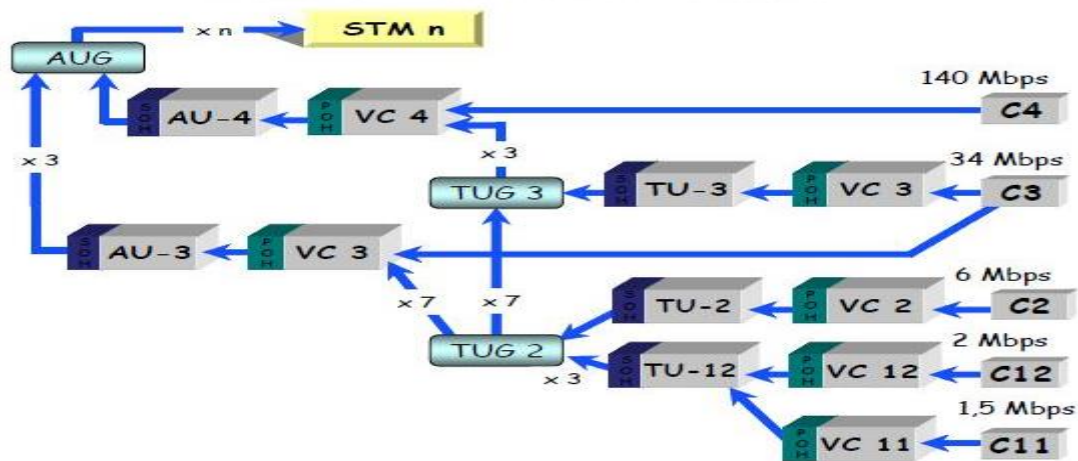


Figure 1- 15: Structure de SDH.

1.4.1 L'arrivée du SDH

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

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

1.4.2 Les trames SDH

Il y existe différentes trames en SDH. La trame de base est appelée le STM-1 (Synchronous Transport Module, niveau1). STM-1 à une longueur de 2430 octets. Sa fréquence de transmission est de 125µs ; ce qui nous donne un débit de :

$$2430 \times 8 / 125 = 155,52 \text{ Mbit/s.} \quad (1.4)$$

Dans cette trame, 9 octets sont réservés à la gestion et l'adressage, il reste donc une charge utile de 150,336 Mbit/s.

La trame STM-1 contient 3 blocs. Voici un schéma de cette trame :

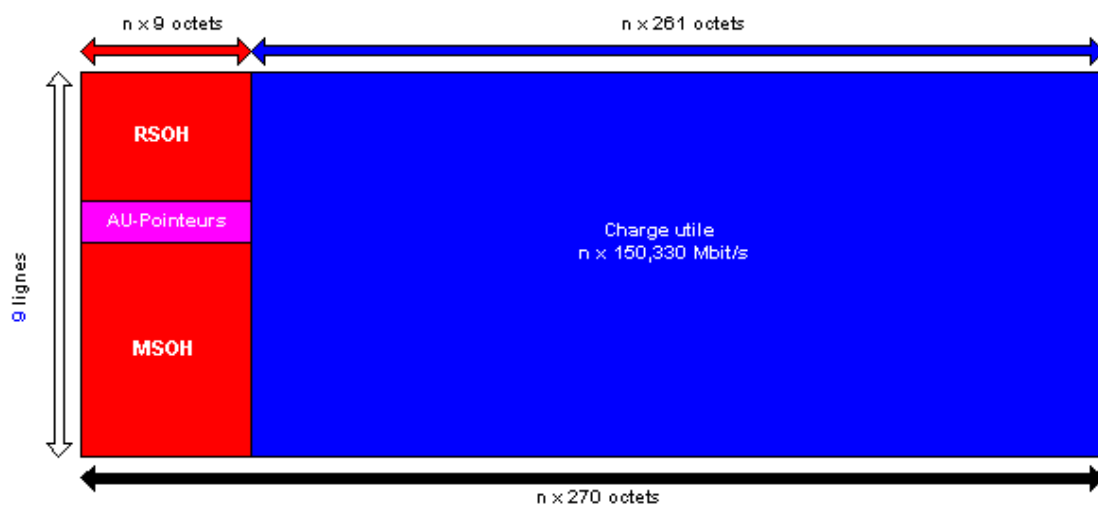


Figure 1- 16: La trame SDH (STM-n) [8].

- SOH : (section overhead) information de transport.
- PTR : pointeur.
- Payload: Information à transmettre.

C'est dans le pointeur que réside le secret de la hiérarchie numérique synchrone. En effet, c'est le pointeur qui assure à lui seul la synchronisation. Le principe est simple : SDH utilise des pointeurs et une technique de justification « négative-nulle-positive » pour pouvoir faire « flotter » les informations utiles dans la trame et ainsi les décalages de phase entre les équipements sont absorbés. Par exemple, si l'horloge utilisée localement a une fréquence supérieure à celle du signal arrivant, une section spéciale de la trame (le POH) est utilisée pour transmettre le sur débit et le pointeur est décrémenté d'une unité. Et inversement, quand le signal varie plus vite que l'horloge locale, on insère des bits de bourrages et on incrémente la valeur du pointeur. Lorsque la quantité d'information à transporter est supérieure à la zone

disponible dans la trame SDH, elle se continue dans la trame suivante et la fin est indiquée par un "marqueur de fin". Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés en n niveaux appelés STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n).

SDH	SONET	Débit
VC-3	STS-1/OC-1	51.84 Mbps
STM-1	STS-3/OC-3	155.52 Mbps
STM-4	STS-12/OC-12	622.08 Mbps
STM-16	STS-48/OC-48	2488.37 Mbps
STM-64	STS-192/OC-192	9953.28 Mbps
STM-128	STS-384/OC-384	19906.56 Mbps
STM-256	STS-768/OC-768	39813.12 Mbps

Tableau 1- 2: Les niveaux hiérarchiques SDH.

Le niveau STM 4 et STM 16 est formé respectivement de 4 et 16 trames de base STM 1.

Le débit des trames STM-n se calcule comme suit :

$$\text{Debit} = (n \times 270 \times 9 \times 8 \text{ bits}) / 125 \mu\text{s} = n \times 155.520 \text{ Mbit/s} \quad (1.5)$$

1.5 Conclusion

La fibre possède des qualités non négligeables comme support de transmission de l'information qui lui ont permis de s'imposer dans les réseaux de télécommunications.

Les défauts qui peuvent contrarier le bon fonctionnement d'un système à fibre semblent pouvoir se corriger (la dispersion chromatique par une fibre à dispersion contraire, l'atténuation par un amplificateur optique,...).

Avec l'avènement des fibres monomodes dont la dispersion chromatique pouvait être compensée en alternant des tronçons de dispersion de signes opposés, le facteur limitant la portée, tout du moins pour des débits allant jusqu'à 10Gbit/s (génération actuelle). Dès lors il ne devenait plus nécessaire de régénérer complètement le signal, et une simple amplification linéaire.

2.1 Introduction

Compte tenu de la capacité de transmission d'une seule fibre optique, l'avenir des réseaux de communication passe indubitablement par l'intégration des services. La concurrence qui sévit au sein des réseaux à intégration de services se divise en trois technologies distinctes : le réseau numérique à intégration de services à large bande (RNIS LB) fonctionnant en mode de transfert asynchrone (ATM), la câblodistribution et Internet capable de garantir la qualité de service (QoS) (qualité de service). De ces trois technologies, le RNIS LB est la plus mûre et la plus complète. Internet capable de garantir la QoS en est encore à ses balbutiements. Quant à la câblodistribution, elle a été concentrée sur la fourniture d'accès plutôt que sur le réseau de communications mondial. Avec sa principale percée dans la connexion point à point à grande bande passante, le multiplexage dense en longueur d'onde (DWDM) refaçonne le tableau des réseaux de communication. Il est peu vraisemblable que l'avenir des réseaux de communication passe par ces trois types, auxquels s'ajoute la commutation de circuits en réseau optique synchrone (SONET). Chacune de ces technologies devra plutôt se repositionner pour trouver son propre rôle dans l'infrastructure DWDM. Compte tenu de la capacité de transmission de chaque voie de réseau DWDM, l'avenir de cette technologie passe également par l'intégration des services. Pour ce faire, il faudra prévoir le multiplexage à répartition dans le temps (MRT) dans chaque voie et entre ces voies, c'est-à-dire la commutation de circuits en SONET ou la commutation de cellules en ATM. Il s'agira alors de déterminer la forme de MRT qui s'y prête le mieux ainsi que la façon de la mettre en œuvre. Le présent article fait le point sur la technologie DWDM. On y analyse également le rôle futur des protocoles de réseau MRT actuels dans le réseau DWDM de même que l'avenir de l'intégration des services fondée sur cette technologie.

2.2 Principes du multiplexage d'onde

Le multiplexage en longueur d'onde (Wavelength Division Multiplexing, WDM), consiste à envoyer dans une seule fibre N porteuses optiques à différentes longueurs d'onde transmettant chacune un débit DB. Ce procédé est encore appelé multiplexage en fréquence (Frequency

Division Multiplexing, FDM). Ces deux termes recouvrent la même notion, mais par habitude, on parle de multiplexage en longueur d'onde lorsque la séparation entre deux canaux est relativement grande (typiquement plus de 1 nm), tandis qu'on parle de multiplexage en fréquence lorsque cet écart est relativement petit comme c'est montré sur la figure 2-1 [1].

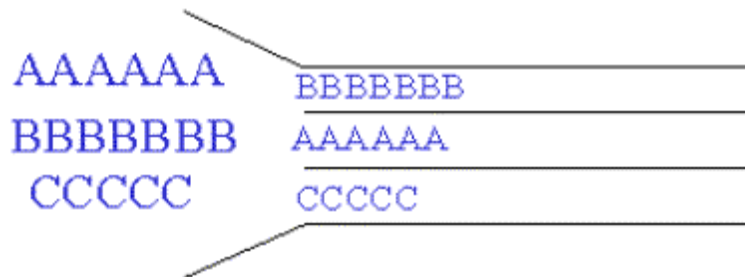


Figure 2- 1: Répartition des sous-bandes WDM.

La figure 2-2, montre une transmission optique effectuée pour chaque fréquence propre. Les systèmes actuels autorisent le nombre de canaux optiques suivant : 4, 8, 16,32 et 64. A partir de différentes sources émettant chacune sur une longueur d'onde propre, on peut regrouper et injecter ces canaux dans une seule fibre sans qu'il y ait mélange entre elles pendant leur propagation [1].

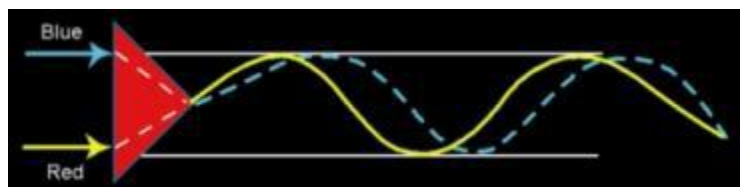


Figure 2- 2: Transmission de données optiques.

A l'extrémité de la fibre, il suffit de séparer ces longueurs d'ondes et de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux. Cependant Il faut noter qu'il existe des sources émettant simultanément plusieurs longueurs d'onde. La capacité des systèmes de transmission à WDM augmente parallèlement avec l'augmentation du débit par canal en multiplexage temporel (TDM) de 2,5Gbits/s à 10Gbits/s. lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 0,8 nm ou quand plus de 16 canaux sont utilisés la technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) est appliquée. Ce type de multiplexage nécessite un ensemble de diodes lasers émettant à des longueurs d'onde différentes assez proches (de

l'ordre de 1550 nm), et de multiplexeurs/démultiplexeurs optiques pour combiner/séparer l'ensemble des signaux optiques dans/de la fibre figure 2-3 [1].

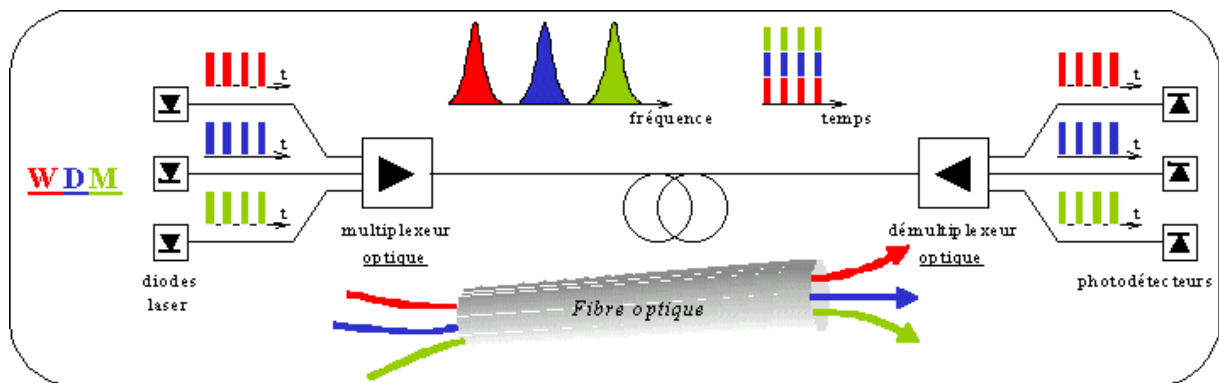


Figure 2- 3: Schéma de principe du multiplexage DWDM.

2.3 Fonctionnement général de WDM

La technologie du WDM est représentée par deux terminaux et un lien optique monomode les reliant. Le premier est un multiplexeur, le second un démultiplexeur. Le multiplexeur a pour rôle de changer les longueurs d'ondes des signaux entrant et de les multiplexer sur un seul canal. Pour changer les longueurs d'ondes entrantes, il est nécessaire d'utiliser un transpondeur. Lorsque des signaux arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même si l'émetteur est différent. Etant donné qu'il n'est pas possible d'envoyer deux fois la même longueur d'ondes sur un même lien au risque d'erroné l'information des deux signaux, c'est le transpondeur qui va se charger la longueur d'onde d'un des deux signaux. Ainsi, chaque flux entrant va être codé sur une porteuse par modulation d'amplitude ou de phase. Ce qui permet donc de diffuser des signaux de sources différentes et ayant des longueurs d'ondes identiques sur un même canal. Arrivé au démultiplexeur, celui-ci va agir comme un ensemble de filtres, dans des zones de longueurs d'ondes données. Sachant que le démultiplexeur connaît les longueurs d'ondes circulant dans le lien optique. Il peut récupérer l'intégralité d'un signal qui avait été multiplexé [3].

2.4. Comparaison des multiplexages TDM et WDM

Au premier abord, on pourrait penser que les deux approches de multiplexage optique TDM et WDM sont semblables. Elles sont au niveau formel parce qu'elles permettent la superposition sur le même support physique de transmission de plusieurs canaux de communication, identifiables selon leur décalage temporel pour TDM et selon leur longueur d'onde pour

WDM. Cependant au niveau technologique l'approche TDM présente des inconvénients significatifs par rapport à l'approche WDM. En premier lieu les canaux TDM ne sont pas transparents pour le débit de modulation ni pour le type de modulation. Ils sont uniquement modulables numériquement et leur débit est imposé par le multiplexeur temporel. A l'inverse, chaque canal WDM peut être modulé individuellement, numériquement ou analogiquement, en amplitude ou en phase. Le débit de chaque canal WDM peut en outre être choisi arbitrairement du moment que les spectres des signaux ne se recouvrent pas. Il en résulte donc une plus grande flexibilité. Une autre caractéristique désavantageuse du multiplexage optique TDM provient du très haut débit du signal multiplexé qui résulte des agrégations des canaux entrelacés temporellement. Cette conséquence inhérente au multiplexage temporel constitue un inconvénient majeur pour les systèmes de transmission optiques lorsque le signal multiplexé se met à couvrir des dizaines de gigahertz. Le traitement électronique constitue alors un frein aux opérations de multiplexage et démultiplexage temporels. Alors que l'approche WDM effectue celles-ci optiquement et passivement. De plus le phénomène de dispersion limite d'autant plus la propagation du signal TDM multiplexé que son débit est important. Les débits moindres de chaque canal WDM permettent d'éviter ce problème. Enfin, l'approche TDM souffre d'un manque d'extensibilité. L'addition d'un nouveau canal TDM nécessite une modification des décalages temporels et une resynchronisation des canaux déjà existants. Inversement, l'indépendance des canaux WDM autorise la création d'un nouveau canal simplement par l'ajout d'un émetteur laser et d'une fibre optique appropriés, sans affecter les autres canaux. En conclusion l'approche WDM s'avère la technique de multiplexage préférentielle pour les systèmes de transmissions optiques, en raison de la transparence, de la flexibilité et de l'extensibilité des canaux WDM [1].

2.5 Les conditions requises pour le WDM

Etablissons un bilan des différents composants nécessaires afin de réaliser une transmission d'information sur une fibre monomode en silice à $1.31\mu\text{m}$ ou à $1.55\mu\text{m}$ avec un débit binaire B [1].

2.5.1 Le rapport signal sur bruit

Le rapport signal/bruit est le rapport entre la puissance optique de la porteuse et le bruit au récepteur. Une règle approximative indique que le rapport signal/bruit ne devrait pas descendre sous 20 dB dans la plupart des systèmes de communication optique.

$$\tau \approx \left(\frac{2}{S/B} \right)^{3/2} e^{\frac{S}{R}/2} \quad (2.1)$$

τ : Le taux d'erreur sur un bit : $\tau = (\text{nombre de bits erronés sur nombre de bits reçus})$.

S/B: signal sur bruit.

Soit pour un $\tau = 10^{-9}$, un S/B = 144 (21.6 dB).

Selon le détecteur utilisé (PIN ou PDA), on a un S/B différent, donc des puissances minimales détectables P_{\min} différentes :

Pour un débit de 2,5Gb/s on a

$$P_{\min}(\text{PIN}) = 5\mu\text{W} (-23\text{dBm}) \quad (2.2)$$

et

$$P_{\min}(\text{PDA}) = 0,7\mu\text{W} (-31\text{dBm}). \quad (2.3)$$

2.5.2 Le choix de la source optique

La transmission d'information sur fibre optique à haut débit requiert certaines conditions sur les sources et les fibres optiques :

La puissance minimale demandée à la source est déterminée en fonction des pertes de la fibre, et la puissance minimale détectable P_{\min} du détecteur.

On a alors :

$$P_0 = P_i - N_c \cdot p_c - N_s \cdot p_s - L \cdot \alpha \quad (2.4)$$

P_i : puissance initiale de la source.

P_0 : puissance récoltée par le détecteur.

N_c, N_s : nombre de connecteurs et de raccords (coupleurs) respectivement.

p_c, p_s : pertes (dB) aux connecteurs (0.5-1dB) et à chaque raccord (~0.5-2dB) respectivement.

Alors : $L \cdot \Delta\lambda \approx \frac{231\text{ps}}{2.4\text{PS/Km.nm}}$ (à $\lambda = 1.3\mu\text{m}$) et $L \cdot \Delta\lambda \approx \frac{231\text{ps}}{21.5\text{PS/Km.nm}}$ (à $\lambda = 1.5\mu\text{m}$)

$\lambda=1.3$	$\Delta\lambda=10\text{nm}$ $L=9.6 \text{ Km}$	$\Delta\lambda=1\text{nm}$ $L=96 \text{ Km}$	$\Delta\lambda=0.1\text{nm}$ $L=960 \text{ Km}$
$\lambda=1.5$	$\Delta\lambda=10\text{nm}$ $L=1 \text{ Km}$	$\Delta\lambda=1\text{nm}$ $L=11 \text{ Km}$	$\Delta\lambda=0.1\text{nm}$ $L=111 \text{ Km}$

Tableau 2- 1: La longueur d'onde et la distance de la source.

La distance maximale L_{Max} permise en considérant les pertes par atténuation vaut :

$$L_{\text{Max}} = 10/\alpha \log(P_i / P_{\text{min}}) = \begin{cases} 25 \log(P_i / P_{\text{min}}) \text{ à } \lambda = 1.3\mu\text{m} \\ 50 \log(P_i / P_{\text{min}}) \text{ à } \lambda = 1.5\mu\text{m} \end{cases} \quad (2.5)$$

On a les puissances minimales détectables :

$P_{\text{min}}=5\mu\text{W}$ (PIN) ou $0,7\mu\text{W}$ (PDA) : pour un débit $B=2,5\text{Gb/s}$

$P_{\text{min}} = 20 \mu\text{W}$ (PIN) ou $3 \mu\text{W}$ (PDA) : pour un débit $B=10\text{Gb/s}$.

Donc on obtient :

$$L_{\text{Max}} = 25. (\text{Log } P_i + 5.3) \text{ (PIN)} \quad (2.6)$$

Ou pour $B=2,5\text{Gb/s}$:

$$L_{\text{max}} = 25 (\text{Log } P_i + 6.1) \text{ (PDA)} \quad (2.7)$$

$$L_{\text{Max}} = 25. (\text{Log } P_i + 4.7) \text{ (PIN)} \quad (2.8)$$

Ou pour $B=10\text{Gb/s}$:

$$L_{\text{max}}=25(\text{Log } P_i +5.5) \text{ (PDA)} \quad (2.9)$$

Pour une puissance de la source P_i de 1mW et 10mW , on a :

	$B=2.5 \text{ Gbit/s}$	$B=11 \text{ Gbit/s}$
1 mW	$L_{\text{max}} = 43\text{Km}(P_{\text{in}}) L_{\text{max}} = 63 \text{ Km}$	$L_{\text{max}} = 43\text{Km}(P_{\text{in}}) L_{\text{max}} = 63 \text{ Km}$
10 mW	$L_{\text{max}} = 43\text{Km}(P_{\text{in}}) L_{\text{max}} = 63 \text{ Km}$	$L_{\text{max}} = 43\text{Km}(P_{\text{in}}) L_{\text{max}} = 63 \text{ Km}$

Tableau 2- 2: puissance de la source.

2.6. Les composants spécifiques d'un réseau WDM

Les composants spécifiques d'un réseau DWDM est représenté par la figure 2-4 [6] :

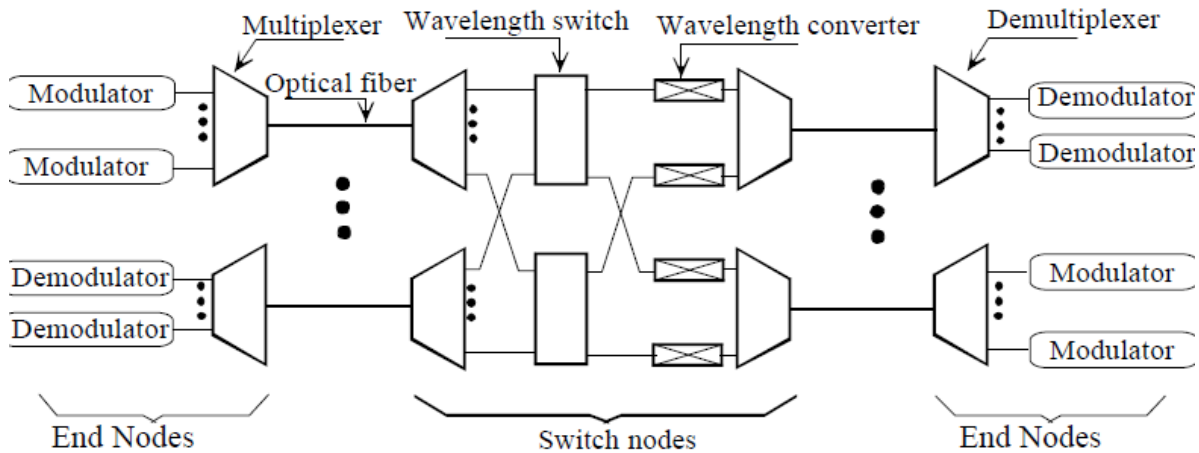


Figure 2- 4: l'architecture et fonctionnement d'un système WDM.

2.6.1 Les modulateurs (modulators)

Servent à convertir les données numériques en ondes, par modulation d'intensité, ou par modulation d'amplitude, tandis que les démodulateurs ont la charge de reconvertir les signaux optiques en données numériques. Le moyen le plus efficace de moduler et démoduler les signaux consiste à utiliser des diodes lasers (Modulation interne) [4].

2.6.2 Les multiplexeurs/démultiplexeur

Utilisés pour rassembler ou séparer les voies de longueurs d'onde différentes, les multiplexeurs/démultiplexeur jouent un rôle primordial (fondamental) dans WDM [4].

2.6.2 Les amplificateurs optiques (EDFA)

L'amplificateur à fibre optique dopé à l'erbium est une technologie clef sur laquelle reposent les stations intermédiaires dans les systèmes de transport longue distance. Les EDFA permettent d'amplifier simultanément toutes les longueurs d'ondes, sans conversion des signaux optiques en signaux électriques. Les éléments de base d'un amplificateur optique dopé à l'erbium sont :

- La fibre monomode dont le cœur contient des ions de terre rare (l'erbium pour l'amplification autour de $1,55\mu\text{m}$),
- Laser de pompage de forte puissance,
- Le multiplexeur pour coupler la pompe (laser) et le signal à l'intérieur de la fibre,

- L'isolateur optique (des filtres) peut également être utilisé pour égaliser le gain dans la plage d'amplification [4].

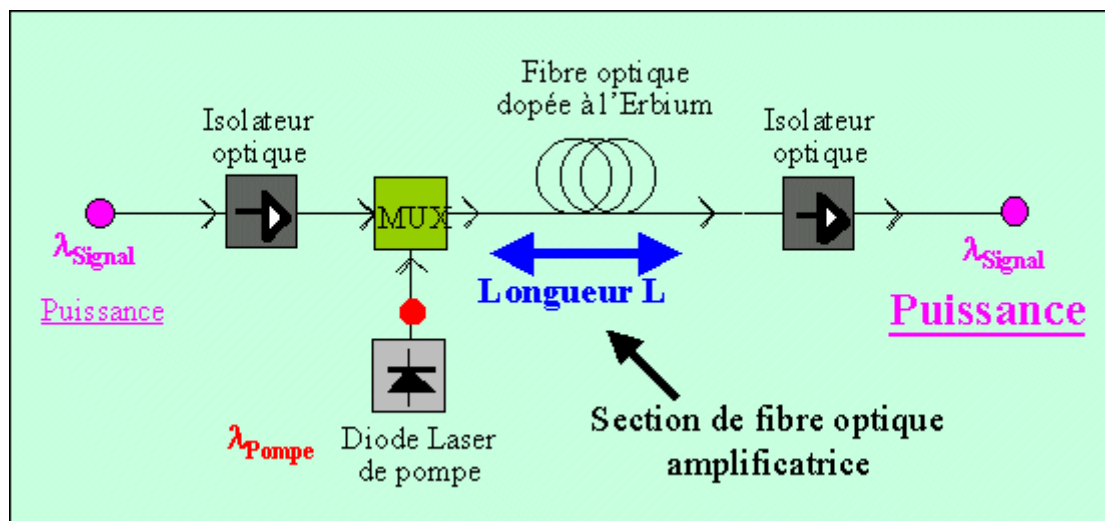


Figure 2- 5: L'amplificateur EDFA.

Après avoir provoqué la fibre dopée en erbium par un laser de pompage optique une inversion de population entre deux niveaux d'énergie appropriés, des photons incident, correspondant au signal à amplifier, envoyés dans le milieu actif, vont déclencher l'émission de nombreux photons de même longueur d'onde de 1550nm, phase, polarité, et sens. C'est l'émission stimulée. L'amplification se distingue de l'effet laser par l'absence de résonance à la longueur d'onde d'émission. Les amplificateurs de fibre optique ont les caractéristiques suivantes:

- faible facteur de bruit,
- gain élevé,
- puissance de sortie se situant dans la région spectrale de longueur d'onde de 1550 nm.

Les modules de l'amplificateur de fibre dopée à l'erbium (EDFA) comprennent un ou deux lasers de pompage de 980 nm dotés d'un refroidisseur thermoélectrique.

Les inconvénients des EDFA sont :

- La nécessité d'un laser de pompage, et la difficulté d'intégration,
- Actuellement limité autour de 1550nm (mais d'autres dopages prometteurs).

2.6.3 Les convertisseurs (wavelength converter)

Un signal optique modulé sur une longueur d'onde donnée à l'entrée est converti en un même signal modulé sur une autre longueur d'onde à la sortie. Des convertisseurs de longueur d'onde

fonctionnant à 10Gbits/s sont déjà disponibles dans le commerce, ce composant optique remplit une fonction 2R optique (réception-remise en forme) avec une amélioration du rapport signal sur bruit [4].

2.6.4 Les commutateurs de longueur d'onde (wavelength switch)

Les commutateurs servent à router les voies d'entrées aux voies de sorties voulues par une commande électrique [4].

2.7. Topologie des réseaux X

Un système de construction flexible permet de réaliser diverses topologies de réseau en fonction de l'application [4] :

2.7.1 Topologie Point-à-Point

Dans cette application standard, les canaux de données sont transmis parallèlement entre 2 sites. Des Multiplexeurs/Démultiplexeurs standards aux extrémités fédèrent puis séparent optiquement les canaux. Des distances jusqu'à 80 km peuvent être parcourues. La figure suivante illustre cette topologie :

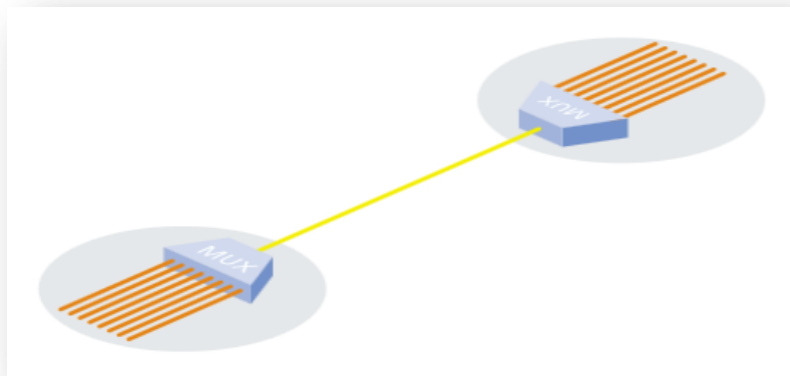


Figure 2- 6: Topologie Point-à-Point.

2.7.2 Topologie Linear-Add-Drop

Dans un tel cas, il s'agit d'une topologie Point-à-Point plus élaborée, où, entre les nœuds d'extrémité, des nœuds intermédiaires permettent d'extraire et d'ajouter des canaux. Selon la configuration réalisée, on peut ainsi insérer à son gré des canaux de transmission entre deux nœuds du réseau. Aux extrémités sont installés comme précédemment des Multiplexeurs/Démultiplexeurs standards. Lors de la planification, il est très important de

considérer la taille totale du réseau et surtout que chaque Add-Drop-Multiplexeur induit une atténuation d'insertion, qui réduit d'autant la longueur totale du réseau. La figure suivante montre la topologie Linear-Add-Drop.

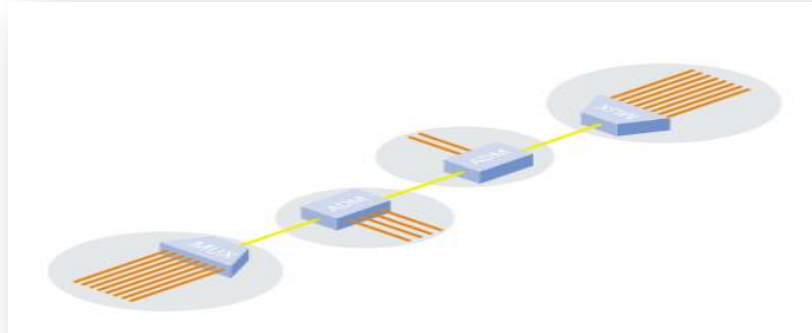


Figure 2- 7: Topologie Linear-Add-Drop.

2.7.3 Topologie en anneau (ring)

La réalisation de réseaux en forme d'anneau, comme montre la figure ci-dessous, est particulièrement appréciée dans le secteur des Télécoms car elle garantit une haute sécurité tout en maintenant minimale la longueur de fibre nécessaire. Dans une telle topologie, en cas de panne en un point de l'anneau, le trafic des données demeure assuré entre chaque nœud. Des Multiplexeurs Add-Drop optiques à chaque nœud sont nécessaires à la construction de réseaux en anneau. On peut ainsi introduire à son gré des canaux entre deux nœuds de l'anneau.

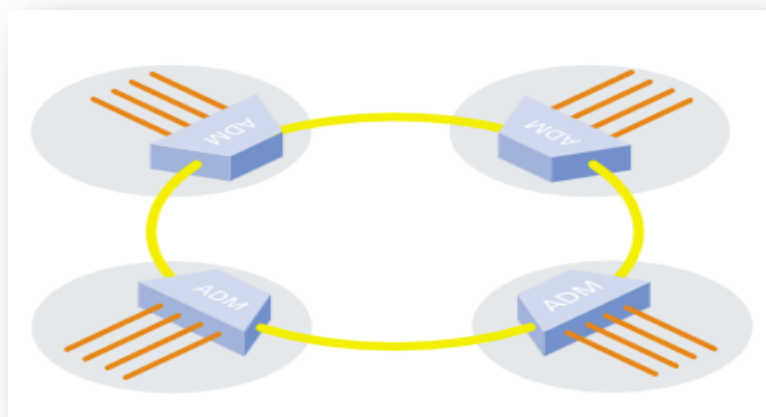


Figure 2- 8: Topologie en anneau.

2.8. Les différentes technologies WDM

Il existe plusieurs technologies WDM. Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploité dans une fibre. Le multiplexage WDM est caractérisé par l'intervalle minimum entre deux longueurs d'onde utilisables. Cet intervalle peut être exprimé en nanomètres ou en gigahertz. Si cet intervalle est inférieur ou égal à 0,8 nanomètres (soit 100 GHz) on parle alors de multiplexage DWDM (Dense WDM). Des tests ont même été effectués avec des intervalles de 0,4 et 0,2 nanomètres. On parle alors d'U-DWDM pour Ultra-Dense WDM. L'utilisation de 32 longueurs d'onde différentes sur une fibre à 10 gigabits par secondes permet donc d'atteindre assez facilement un débit de 320 gigabits. Prochainement, lorsque 160 longueurs d'onde pourront être utilisées, la même fibre à 320 gigabits par secondes pourra fournir un débit de 1,6 téraoctets par secondes. Il existe une autre forme de multiplexage WDM, moins performante, le CWDM (Coarse WDM qui signifie WDM grossier). Dix-huit canaux au maximum sont utilisables, mais en général les équipements émettent sur quatre, huit ou seize canaux. Le WWDM (Wide WDM) est un autre dérivé du WDM réservé désormais aux systèmes avec des canaux espacés de plusieurs nm incluant aussi les canaux dans des fenêtres de transmission différentes. Il est encore plus restrictif que le CWDM puisqu'il ne permet l'utilisation que de quatre canaux [3].

2.8.1 Les caractéristiques du D-WDM et de l'U-DWDM

Le DWDM et l'U-WDM sont la clef du progrès des réseaux de fibre optique. Ils augmentent considérablement le rendement et la souplesse des réseaux, lorsque plusieurs canaux d'information affluent sur une même fibre. La particularité du D-WDM et de l'U-WDM est qu'ils utilisent des espacements de longueurs d'ondes très court c'est-à-dire inférieur ou égal à 0,8 nanomètres. C'est grâce à cela qu'il est possible d'avoir un nombre de canaux important dans la fibre. On parle alors d'U-DWDM pour Ultra-Dense WDM. L'utilisation de 32 longueurs d'onde différentes sur une fibre à 10 gigabits par secondes permet donc d'atteindre assez facilement un débit de 320 gigabits. L'inconvénient de cette technologie est qu'il est nécessaire d'avoir un laser refroidi en température. Les longueurs d'onde d'émission étant très proches, il est nécessaire de réguler la température du laser entre les impulsions. Un laser régulé en température représente un coût très onéreux. L'avantage des technologies D-WDM et U-DWDM est qu'ils utilisent des longueurs d'ondes qui sont amplifiables sans pour autant passer par l'intermédiaire d'un amplificateur électrique. Ce principe évite donc la reconversion d'un signal optique en signal électrique pour être amplifié et à sa retransmission en signal optique. La norme ITU-T G692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de

transmission de 1530 à 1565 nm. L'espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes est de 1,6 ou 0,8 nm. La fibre optique utilisée est de type monomode comme le montre la figure ci-dessous [1].

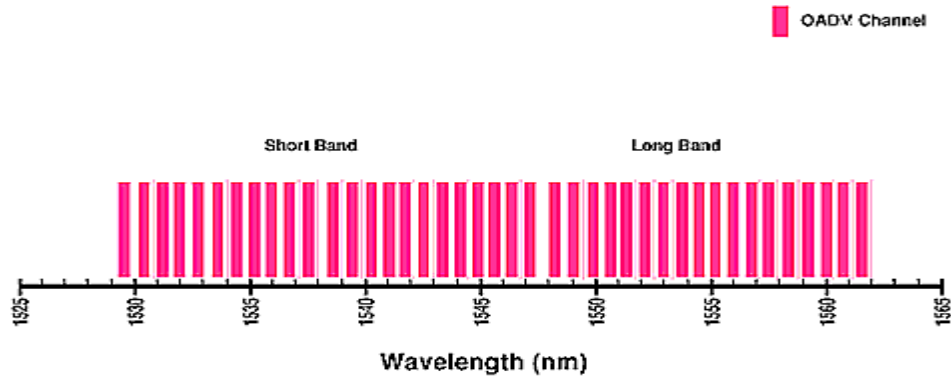


Figure 2- 9: Peigne des fréquences en DWDM.

a. Les éléments constituent une liaison optique DWDM

Plusieurs types d'éléments constituent une liaison optique DWDM :

- Les transpondeurs, qui sont des émetteurs / récepteurs laser. Ils sont capables de convertir les signaux provenant d'une interface Client en une longueur d'onde DWDM. La valeur du λ émis est soit fixée en usine par le constructeur, soit réglable,
- Les multiplexeurs permettent d'injecter plusieurs lambdas dans une seule fibre. Une fonction de démultiplexage est également couplée à cet équipement, afin de séparer en fin de ligne les différentes longueurs d'onde qui ont été transportées dans la fibre,
- Les amplificateurs sont indispensables pour compenser régulièrement l'affaiblissement de la puissance lumineuse des canaux. Les plus puissants, appelés boosters, sont insérés en début de ligne afin de gagner en distance de transmission. Tous les 80 à 120 km, on dispose également d'amplificateurs de ligne qui permettent d'amplifier tous les lambdas à la fois,
- Enfin, avant le démultiplexage des lambdas et leur réception en fin de ligne, un pré amplification est effectué, de manière à ce que la puissance lumineuse des canaux soit suffisante pour que les données puissent être exploitées par les transpondeurs. Des modules de compensation de dispersion sont également placés pour réduire l'étalement temporel du signal provoqué par la fibre.

La figure 2.10 montre un exemple d'architecture d'un lien DWDM :

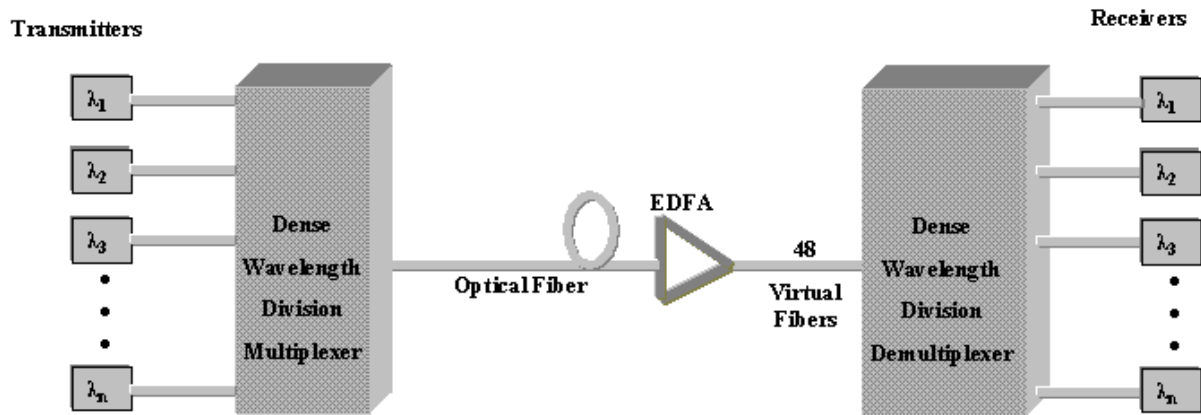


Figure 2- 10: Exemple d'un lien DWDM à 10 Gbit/s.

b. Les effets non linéaires les plus néfastes

Néanmoins le D-WDM introduit des phénomènes non linéaires qui ont notamment pour conséquence de limiter en pratique la distance entre amplificateurs entre 50 et 100 Km. L'introduction d'effet non linéaire n'apparaît pas tant que le nombre de canaux reste inférieur à 32 canaux et que la puissance par canal reste inférieure à 1mW. Les effets les plus néfastes non linéaires actuellement sont:

- Cross Phase Modulation (XPM) : Apparaît lorsque la phase d'un signal est modifiée par un autre signal de longueur d'onde proche,
- Four Wave Mixing (FWM) : Crée de l'inter-modulation optique entre les différents canaux,
- Stimulated Raman Scattering (SRS) : Appelé "effet Raman", augmente les écarts de puissance reçue entre canaux et par conséquent produit une trop grande dispersion du rapport signal/bruit. Il peut aussi modifier la longueur d'onde d'un signal. Ce décalage en fréquence correspond à un échange d'énergie entre le rayon lumineux et le milieu, le phénomène physique par lequel un milieu peut diffuser de la lumière en modifiant légèrement sa fréquence.

2.8.2 Les caractéristiques du C-WDM

Le CWDM (Coarse WDM) permet de transporter de manière simple jusqu'à seize longueurs d'ondes sur de courtes distances de 60 à 80 km. Le C-WDM n'est pas compatible avec les amplificateurs optiques. C'est notamment pour cette raison que le C-WDM est utilisé sur des distances plus que ses confrères. Donc pas d'amplification et pas de régulation en température du laser, ceci permet d'avoir des composants moins chers pour faire du multiplexage optique.

Le spectre utilisé s'étend de 1270 à 1610 nm. L'espacement entre chaque canal est de 20 nm et les émetteurs/récepteurs lasers peuvent subir quelques décalages en longueur d'onde sans que les signaux soient perdus. On peut ainsi s'affranchir d'un asservissement des lasers en température et c'est notamment ce qui rend le CWDM financièrement attractif. Ce système autorise la transmission d'un maximum de 9 applications sur une paire de fibres optiques. Cette technique est conseillée en particulier pour la transmission sur des fibres louées ou lors de manque de fibres dans des câbles déjà posés. Le système possède une structure modulaire et peut ainsi être étendu en diverses étapes d'ampleur variable. La transmission des flux de données s'effectue à des taux de transfert allant de 100 Mbits/s à 2,5 Gbit /s par canal.

2.8.3 Combinaison CWDM/DWDM

La technologie CWDM s'est établie ces dernières années comme l'alternative économique au système DWDM d'exploitation démultipliée des capacités de la fibre optique. Toutefois, du fait du grand écart entre les canaux (20nm), les systèmes sont limités dans le nombre de canaux utilisables. Ainsi, selon la qualité de la fibre, on ne dispose que de 8 voies 16 canaux par fibre. Jusqu'ici, lorsque les exigences de capacité du client augmentaient au-delà de cette limite, il fallait obligatoirement opter pour une technologie DWDM, beaucoup plus chère. Ceci entraînait des coûts d'investissement élevés car on faisait le pas vers un système complètement différent. De nouveaux systèmes innovants permettent une migration en douceur grâce à une combinaison intelligente des techniques CWDM et DWDM. Dès qu'un élargissement des capacités est nécessaire, il est possible d'élargir chacun des 8 canaux CWDM de max. 8 canaux DWDM. Ainsi, dans le cas d'une construction maximale, on peut réaliser jusqu'à 64 canaux optiques, sans provoquer automatiquement de nouveaux coûts d'investissement élevés. La figure 2.11 illustre cette combinaison.

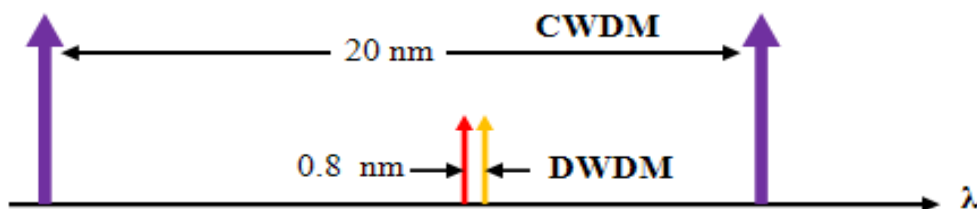


Figure 2- 11: Combinaison CWDM/DWDM.

Une telle modulaire présente l'avantage majeur d'acquérir uniquement le nombre de canaux effectivement nécessaires et donc d'abaisser le niveau financier d'accessibilité. Par ce biais, les coûts de stockage, maintenance et de services en sont d'autant réduits.

2.9. Les réseaux DWDM

2.9.1 Principe et architecture DWDM

Le multiplexage en longueur d'onde repose sur l'envoi d'ondes lumineuses multiples (fréquences) dans une même fibre optique. L'information est transmise par chaque onde, appelée voie, par modulation d'intensité (ou d'amplitude) ou par modulation de phase. À la réception, un prisme optique ou un dispositif semblable sépare les fréquences de manière à extraire séparément l'information transmise par chaque voie. Un signal numérique binaire, plus précisément un signal de modulation d'intensité par tout ou rien, peut également être acheminé par chaque voie individuelle, bien qu'on s'attende à un débit binaire plus faible qu'avec la modulation d'intensité ou de phase. Comme dans le multiplexage par répartition en fréquence (MRF) de type classique utilisé pour les transmissions de signaux électriques ou radio, on peut mélanger les porteuses sur un seul support car la lumière d'une fréquence donnée ne brouille pas celle d'une autre fréquence à l'intérieur de l'ordre linéaire d'approximation. La figure 2-12, illustre le principe de base des communications par fibre optique, y compris le DWDM l'émetteur manipule le signal d'entrée en exerçant une modulation par déplacement d'amplitude (ou d'intensité) (MDA), une modulation par déplacement de fréquence (MDF) ou une modulation par déplacement de phase (MDP) sur une onde porteuse lumineuse de fréquence F_s et d'une largeur de bande très étroite – une onde laser mono fréquence (ou d'une seule couleur). Ce signal modulé est groupé à d'autres signaux émis sur d'autres fréquences, transmis au récepteur par fibre optique, puis reconverti en signal électrique par un détecteur optique et un démodulateur. Des commutateurs ou des routeurs peuvent en outre intervenir entre l'émetteur et le récepteur [6].

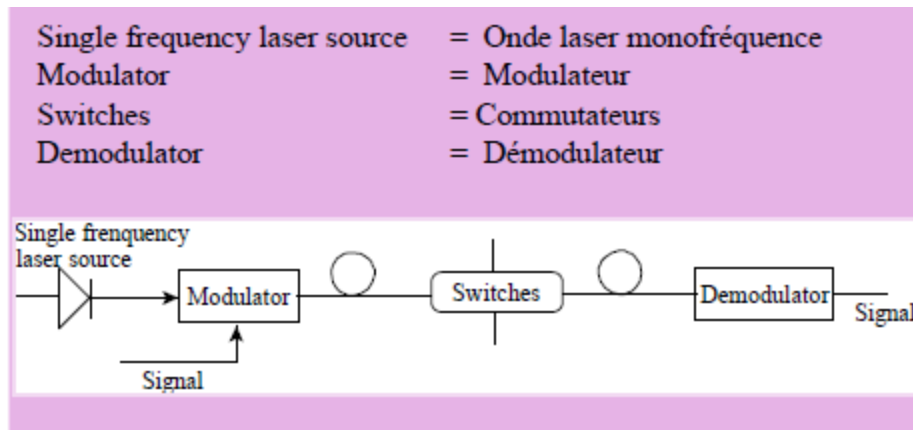


Figure 2- 12: Principe des communications optiques.

La figure 2-13 décrit l'architecture de base et le fonctionnement d'un réseau DWDM. Ce réseau se compose de nœuds d'extrémité, de nœuds de commutation et de liaisons par fibres optiques. Les nœuds d'extrémité consistent en modulateurs-démodulateurs (ou modems) à chaque voie, ainsi que de multiplexeurs et de démultiplexeurs servant respectivement au groupement et à la séparation des ondes lumineuses de fréquences différentes. Les modulateurs convertissent les données numériques en ondes par modulation d'intensité ou d'amplitude, tandis que les démodulateurs reconvertissent les signaux optiques en données numériques. Les nœuds de commutation se composent de multiplexeurs et de démultiplexeurs à insertion-extraction, de commutateurs de longueur d'onde et de convertisseurs de longueur d'onde. Les multiplexeurs servent à grouper les signaux de longueurs d'onde différentes aux fins de transmission alors que les démultiplexeurs séparent ces mêmes signaux aux fins de commutation. Le commutateur de longueur d'onde interconnecte les voies d'entrée aux voies de sortie voulues. Les convertisseurs de longueur d'onde ont pour fonction de convertir, au sein d'une même fibre optique, les longueurs d'onde surexploitées en longueurs d'onde disponibles de manière à maximiser l'utilisation des voies [6].

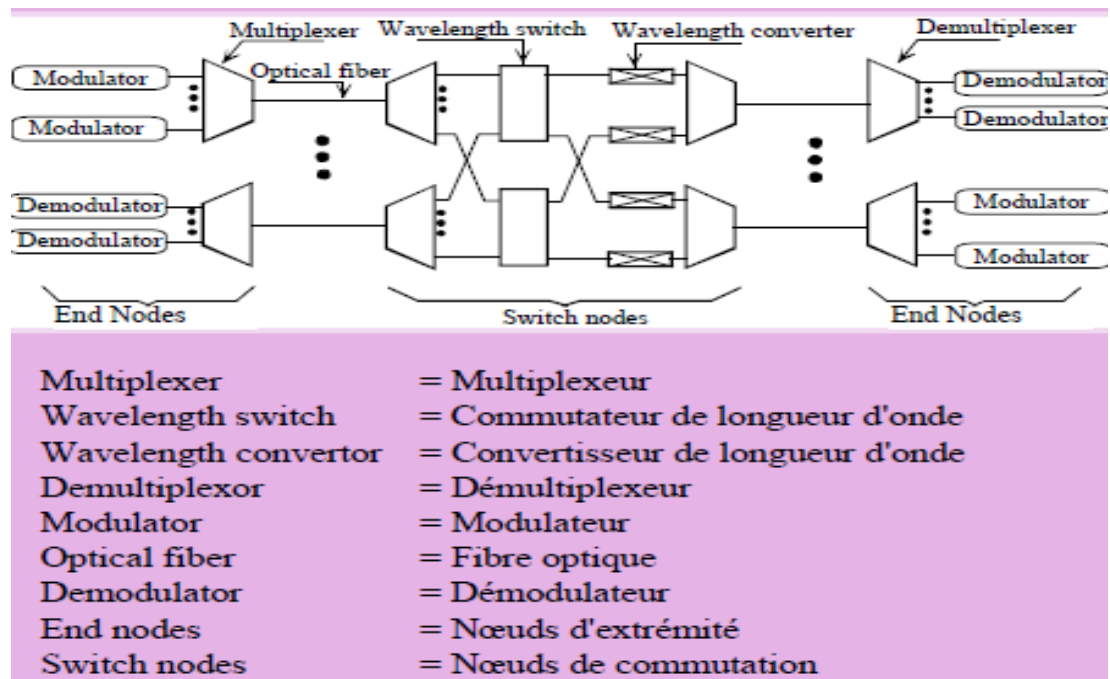


Figure 2- 13: Principales composantes d'un réseau DWDM.

2.9.2 Commutation/routage DWDM

Une fonction de routage toute simple qu'on propose d'ajouter au réseau DWDM point à point consiste en une opération par diffusion et sélection dans laquelle chaque utilisateur du réseau transmet son signal à un coupleur en étoile, d'abord utilisé pour répartir ces signaux vers tous les autres nœuds du réseau de manière passive. Il faut utiliser un protocole d'accès au support pour contrôler les transmissions aux divers nœuds du réseau afin d'éviter les collisions et de gérer les conflits dans la largeur de bande. Ce type de réseau pourrait s'avérer attrayant par sa simplicité et sa performance puisqu'il ne comporte ni commutateur ni routeur; par contre, comme il existe une relation linéaire entre le nombre de nœuds et le nombre de longueurs d'onde, un tel réseau ne peut évoluer pour comporter une multitude de nœuds. Les travaux se poursuivent dans ce domaine en vue de l'interconnexion des ordinateurs de réseaux locaux et métropolitains. Il n'en reste pas moins qu'une telle application n'est pas possible dans un grand réseau car elle ne se prête pas à une mise à l'échelle convenable. La capacité de routage du DWDM passera d'abord par le routage des longueurs d'onde, qui fait actuellement l'objet de recherches. Il s'agit d'un routage sélectif des signaux optiques en fonction de leur longueur d'onde lors de leur cheminement dans les éléments de réseaux situés entre l'émetteur et le récepteur. Le routage des longueurs d'onde a deux grandes caractéristiques. D'abord, il détermine la raie spectrale du signal optique et en cas d'émission de signaux multiples à partir d'un même nœud, chaque signal peut être destiné à un récepteur distinct. Le nombre de pareils

récepteurs est égal au nombre de longueurs d'onde produites dans chaque nœud. Ensuite, comme chaque signal est limité à une raie spectrale donnée, il est possible de réutiliser chaque longueur d'onde nombre de fois dans des raies différentes appartenant au réseau dans la mesure où aucune de ces diverses raies ne tente de coexister dans la même liaison par fibres optiques. La figure 2-13 illustre schématiquement un tel nœud de commutation par convertisseur de longueurs d'onde en vue de la réutilisation des longueurs d'onde. Grâce à une telle interconnexion de longueurs d'onde, on peut interconnecter n'importe quelle longueur d'onde d'entrée à n'importe quelle fibre d'entrée et n'importe quelle longueur d'onde de sortie à n'importe quelle fibre de sortie, pourvu que la fibre en question comporte un nombre de voies suffisant. Ce commutateur réussit partiellement le multiplexage en longueur d'onde et le multiplexage spatial (entre liaisons optiques). Ce commutateur d'interconnexion DWDM - et le multiplexeur à insertion- extraction qui y est associé toute son importance du fait qu'il permet la reconfiguration du réseau optique par longueur d'onde, de manière à optimiser le trafic, l'encombrement, la croissance et la pérennité du réseau. Il permet en outre de configurer des circuits spéciaux en vue de la transmission de signaux sous une autre forme. Pareil ensemble de commutateur-multiplexeur DWDM constitue l'élément transparent de la transmission par sélection de longueurs d'onde qui s'avère essentiel à la création de réseaux à longueurs d'onde multiples [6].

2.9.3 Applications du DWDM dans un proche avenir

La première des applications du DWDM est la dorsale de transmission point à point, qui est actuellement déployée dans nombre de cas. On peut également l'appliquer à divers protocoles et structures de réseau, tel le réseau optique synchrone à circuits commutés (SONET, connu sous l'appellation hiérarchie numérique synchrone (SDH) en Europe), le réseau Internet fondé sur le protocole TCP/IP, le réseau intranet faisant appel au protocole TCP/IP ou à l'ATM, etc. Les applications du DWDM point à point accroîtront la capacité de transmission des liaisons à fibres optiques existantes de manière spectaculaire, ce qui pourra réduire les coûts des réseaux. Le réseau de câblodistribution semble toutefois ne pas profiter de cette évolution du DWDM. Il serait possible de remplacer les câbles coaxiaux par des câbles optiques et d'exploiter un réseau DWDM pour les services de télédiffusion en transmettant la programmation d'une ou plusieurs chaînes sur une longueur d'onde, mais les coûts impliqués pourraient constituer le facteur déterminant. Les technologies d'interconnexion entre les réseaux et protocoles existants, d'une part, et les dorsales DWDM point à point, d'autre part, en sont à l'étape de développement. Certaines d'entre elles sont déjà offertes à l'échelle

commerciale. Nul obstacle technologique n'entrave l'érection d'une interface entre le réseau DWDM et la plupart des réseaux déjà en place. L'élaboration de produits suit son cours dans ce domaine.

La deuxième étape de l'application du DWDM consistera à ajouter des commutateurs/routeurs optiques aux dorsales DWDM. À cette étape, l'architecture et le protocole du réseau détermineront les coûts, voire la possibilité, de mise en place des commutateurs/routeurs. Compte tenu des mécanismes des réseaux actuels, y compris les réseaux SONET, Internet, ATM et de câblodistribution, SONET sera le fer de lance à cette étape en raison de la simplicité de ses mécanismes de commutation et de multiplexage à répartition dans le temps (MRT) comparativement aux mécanismes des autres technologies. On peut prévoir que les commutateurs électriques numériques et les multiplexeurs à répartition dans le temps seront remplacés par leurs équivalents de type optique, mais qu'il s'avérera beaucoup plus difficile de remplacer les routeurs d'Internet et les commutateurs des réseaux ATM puisque leur commande exige un niveau d'intelligence plus élevé pour faire fonctionner les protocoles. Par conséquent, on peut s'attendre à un réseau SONET ou SDH entièrement optique dans un avenir assez rapproché, mais il faudra sans doute attendre plus longtemps pour voir un réseau à commutation de paquets entièrement optique [6].

2.9.4 Réseaux DWDM entièrement optiques et intégration de services

Après l'avènement du réseau SONET à circuits optiques, la commutation/ routage de paquets dans un réseau à intégration de services entièrement optique constituerait un autre développement possible. La comparaison des technologies ATM et TCP/IP indique que l'ATM est nettement mieux adapté puisque TCP/IP n'offre pas la possibilité de communications en temps réel. Néanmoins, on mène actuellement des recherches dans le milieu afin de rendre Internet capable de garantir la qualité de service (QoS). Compte tenu que la dorsale DWDM sera en place dans un avenir rapproché et qu'elle permettra l'utilisation d'une largeur de bande beaucoup plus importante par les routeurs, la recherche sur la prochaine génération Internet en temps réel connaîtra un nouvel élan. La capacité des routeurs électroniques constitue la principale source d'étranglement; elle risque de retarder voire d'empêcher la mise en œuvre et l'essai de protocoles TCP/IP capables de garantir la qualité de service. L'unité de commande du commutateur chargé d'exécuter les protocoles constitue l'un des grands obstacles à l'avènement des commutateurs ATM entièrement optiques. En matière de mise en œuvre de la commutation fondée sur la technologie optique, on en est dans ce domaine au même point qu'avec SONET. La mise en œuvre de l'unité de commande exige

que le traitement logique passe par la lumière. Or, la technologie voulue pour un tel traitement n'existe pas pour le moment, bien qu'elle soit théoriquement possible. En présumant qu'une technologie entièrement optique pour prendre en charge les protocoles TCP/IP capables de garantir la qualité de service soit maintenant à point, elle exige l'utilisation d'ordinateurs entièrement optiques. Voilà qui sous-entend une révolution dans le domaine de la conception et de la fabrication des ordinateurs, mais une telle révolution paraît possible. TCP/IP en mode ATM pourrait aussi trouver ses applications dans un réseau ATM entièrement optique mis en œuvre avec un réseau DWDM [6].

2.10 Conclusion

Pour avoir une liaison optique à haut débit, Plus l'utilisation la technologie WDM/DWDM, il est possible de générer des ondes impulsionnelles stables qui ont la propriété de pouvoir se propager sur de grandes distances dans un milieu non linéaire et dispersif sans grande modification et qui sont par conséquent idéales pour la transmission de données par fibres optiques. De ce fait, en technologie WDM, un seul amplificateur optique se substitue aux N régénérateurs en chaque site de ligne, procurant ainsi une économie d'équipements croissante avec la longueur de la liaison et le nombre de canaux. Ce fut le véritable point de départ du développement des systèmes de transmission longue portée (typiquement entre 150 et 600 Km). La technologie WDM est dite dense lorsque l'espacement utilisé entre deux longueurs d'onde est égal ou inférieur à 100 GHz. 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 .

3.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la simulation de la transmission WDM sous logiciel OptiSystem. On va tout d'abord présenter le logiciel OptiSystem et ces principaux Avantages, ensuite décrire les différentes parties de la simulation, enfin analyser les Différents résultats de la simulation.

3.2 Présentation du logiciel Optisystem

OptiSystem est un outil qui permet aux scientifiques et aux ingénieurs de modéliser, Simuler, analyser et concevoir tout module de traitement du signal, allant du dispositif le plus élémentaire, au système complet de communication. OptiSystem est un environnement interactif qui allie des outils numériques efficaces à des fonctionnalités graphiques puissantes et une interface utilisateur conviviale. La démarche à suivre se décompose en deux étapes :

- Construire le schéma bloc,
- Analyser le schéma.

3.2.1 Interface OptiSystem

La figure 3.1 indique que l'interface OptiSystem contient une fenêtre principale repartit en plusieurs parties:

- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants,
- Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception,
- Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.

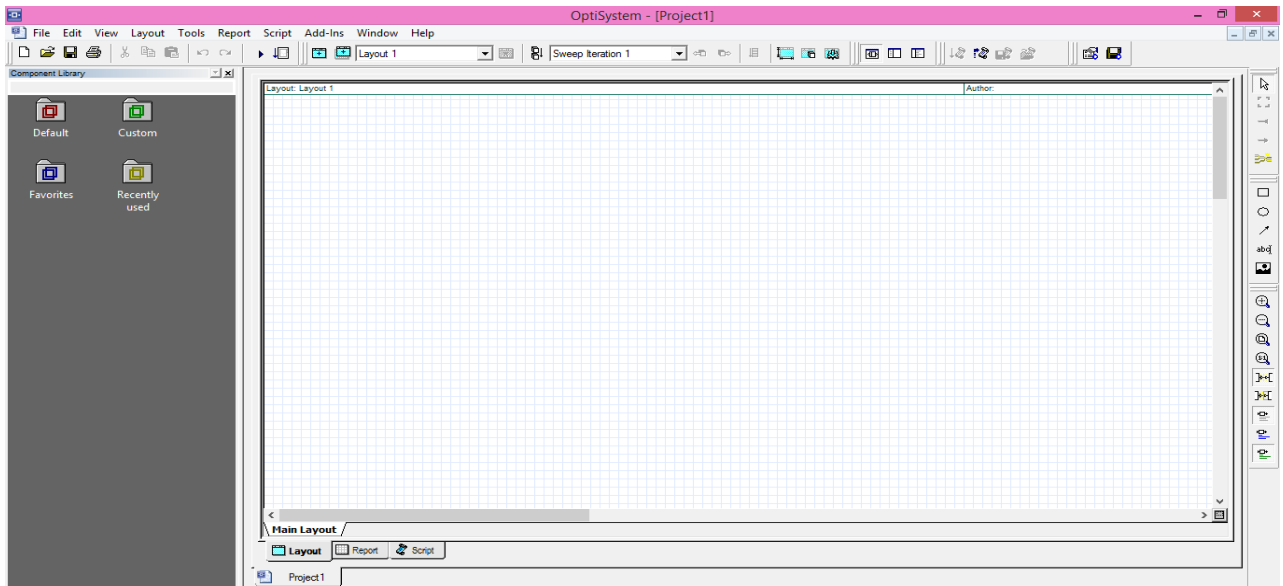


Figure 3- 1: L'interface OptiSystem.

3.2.2 Paramètres caractéristiques

Pour insérer un composant (photo détecteur) de la bibliothèque OptiSystem, il suffit d'accéder au bloc Default, Receivers Library et Photo detectors figure 3-2.

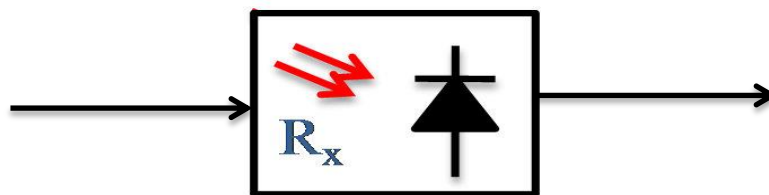


Figure 3- 2: Schéma d'un photodétecteur.

Les caractéristiques du photodétecteur utilise, sont obtenues par un clic sur le composant comme c'est indiqué sur la figure 3-3.

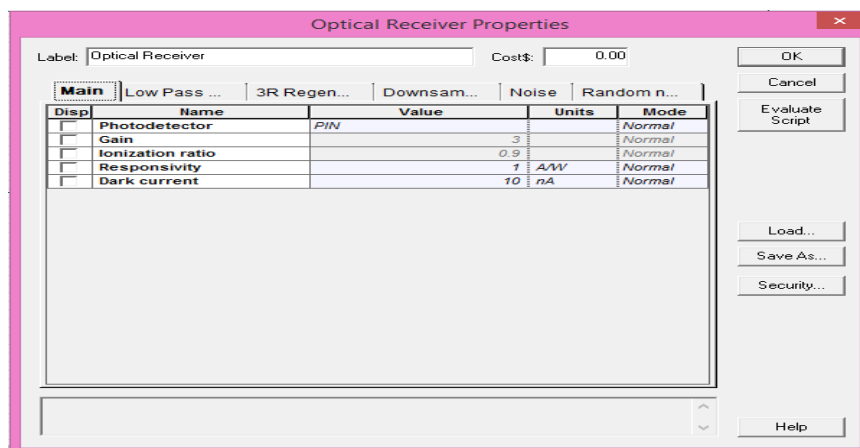


Figure 3- 3: Interface de définition du photodétecteur.

3.3 Les principaux avantages

Optisystem est une application complète pour établir des simulations et des tests de montages optiques, en effet *Optisystem* comprend une bibliothèque riche de composants, tel que les fibres et des appareillages de mesures paramétrables. *Optisystem* est une application Xwindows, elle comprend essentiellement une fenêtre principale répartit en plusieurs parties :

- Vue d'ensemble du projet : permet la visualisation miniature du layout en cours D'édition.
- Bibliothèque : une base de données de divers composants existants.
- Editeur du layout : permet l'édition et la configuration du schéma en cours de conception.
- Projet en cours : visualisation des divers fichiers et composants correspondant au projet en cours.
- Groupe de paramétrage : permet le paramétrage global du projet en cours et la Simulation.
- Fenêtre de sortie : lors de la simulation, cette fenêtre permet la visualisation des diverses phases de la simulation ou des messages d'erreurs comme le montre la Figure 3- 4.

3.4 Topologie du réseau DWDM

Chaque station en réalité est un system DWDM

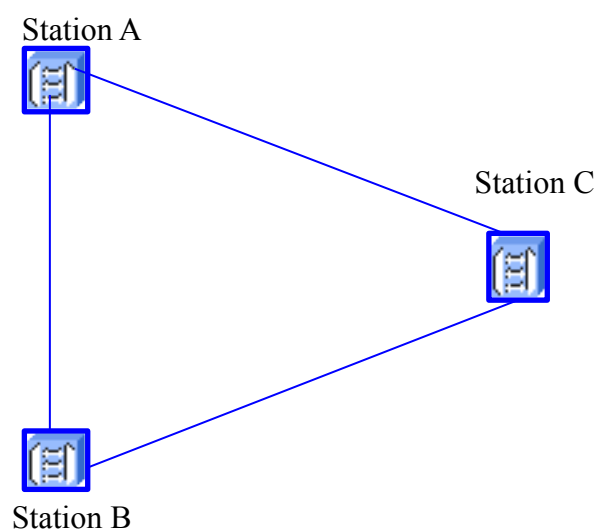


Figure 3- 5: les trois stations DWDM.

Le schéma synoptique des trois stations est représenté comme suite [9] :

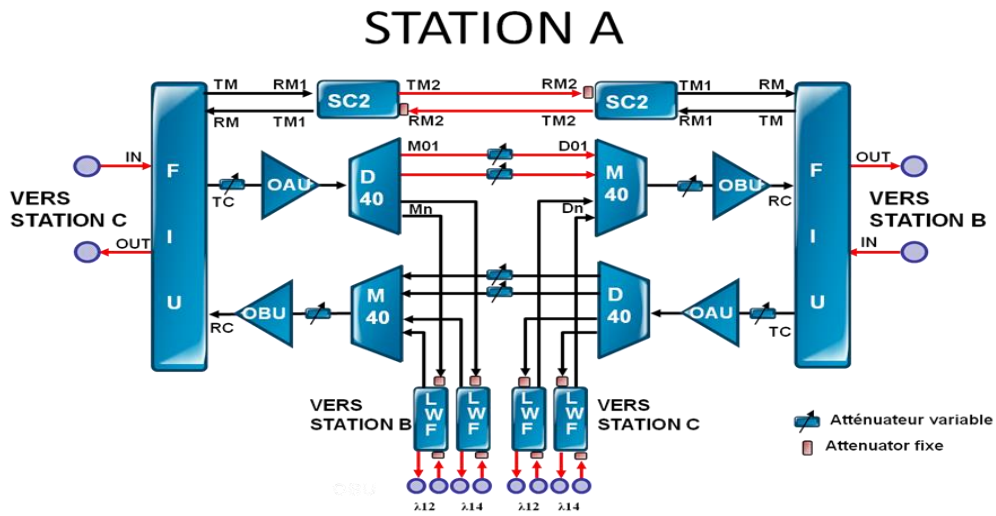


Figure 3- 6: le schéma synoptique de la station A.

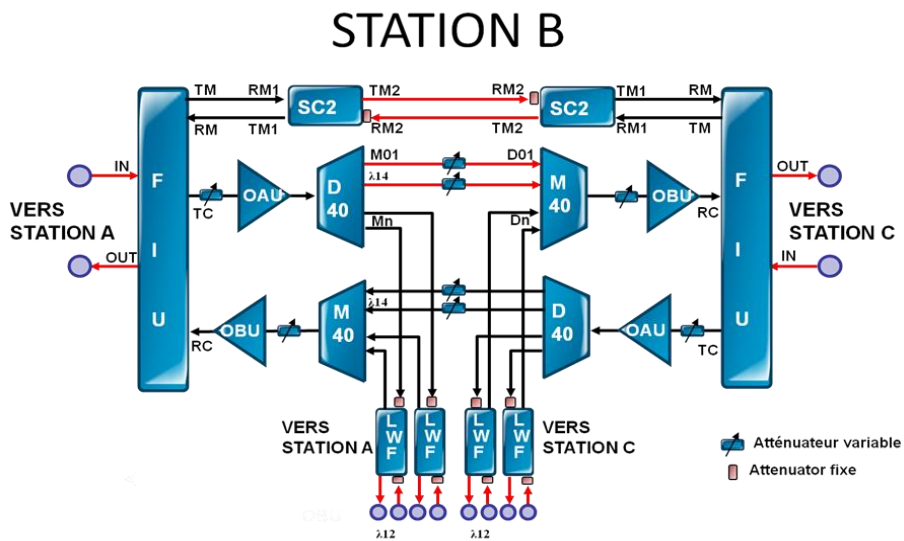


Figure 3- 7: schéma synoptique de la station B.

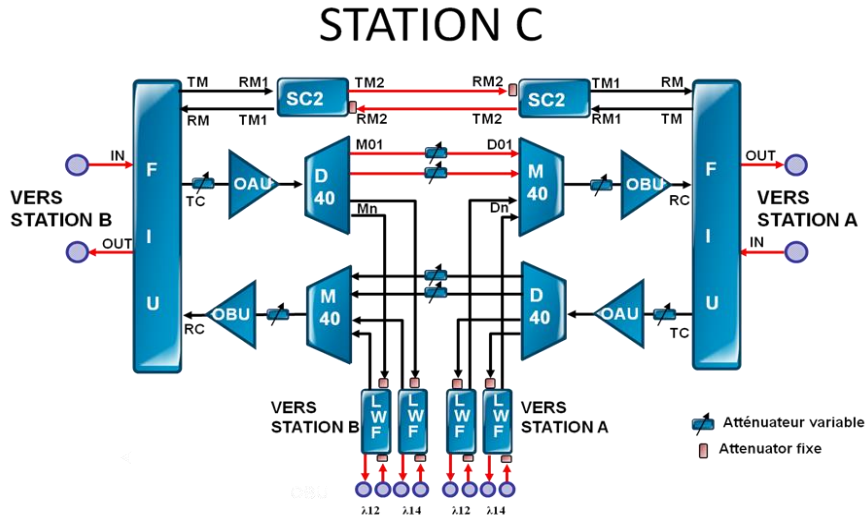


Figure 3- 8: schéma synoptique de la station C.



3.5 Calcule des puissances point à point

La liaison entre les stations B et C est représentée par la figure 3-8 [10] :

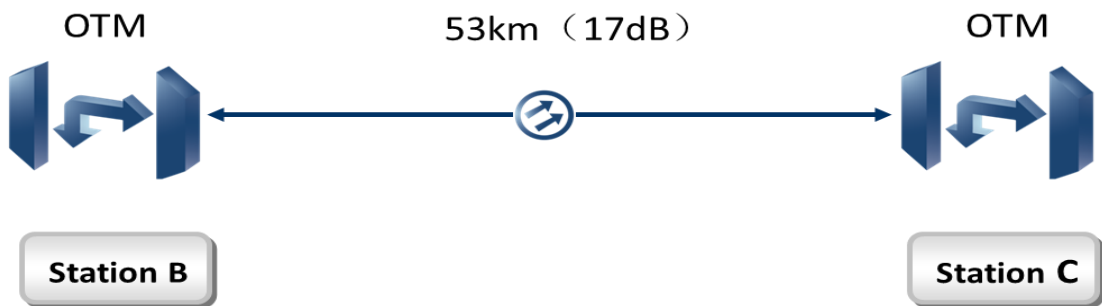


Figure 3- 9: liaison point à point.

3.5.1 Calcul de puissance de la station B

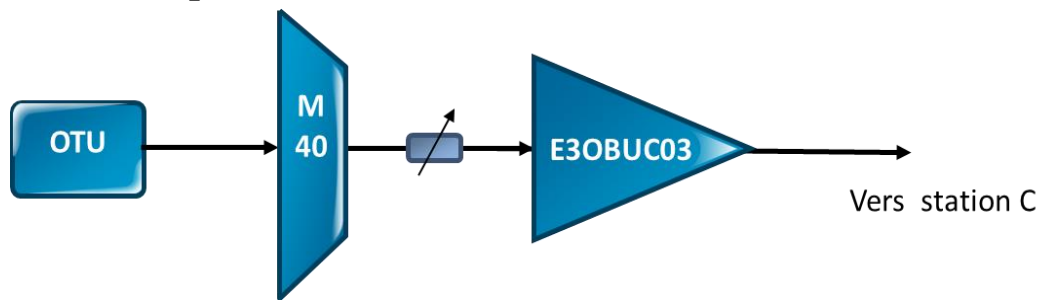


Figure 3- 10: L'architecture de la liaison de la station B.

La puissance optique typique aux points référence au niveau de la station B pour une seule longueur d'onde:

- 1^{er} étape : la puissance de la sortie ou bien la puissance d'émission de laser (source) cette puissance dépend des caractéristiques de la carte, dans notre exemple on prend 2dBm.
- 2^{eme} étape :

$$P_s = P_e - IL (M40) \quad (3.1)$$

- 3^{eme} étape : pour les puissances d'entrées et sorties de l'amplificateur on a les valeurs standard pour une longueur d'onde définie par le constructeur (les valeurs pour les quelle le fonctionnement de l'amplificateur est correct), Dans notre exemple :-19/+4 dBm et le gain est fixe 23Db, On varie l'atténuateur jusqu'au obtenir la valeur (-12.62dBm) à l'entrée et +10 à la sortie
- 4^{eme} étape : on peut raccorder directement l'amplificateur à la fibre mais dans ce cas de préférence d'utiliser une carte FIU qui permet de multiplexer le signal utile avec le signal de supervision.

$$P_s = P_e - IL (FIU) \quad (3.2)$$

Interprétation : à la sortie de la station B la puissance pour une longueur d'onde est égal +9

On résume les résultats de calculs dans le tableau ci-dessous :

	1 ^{er} étape	2 ^{eme} étape	3 ^{eme} étape	4 ^{eme} étape
Pe (dBm)	4	2	-12.62	10.88
Ps (dBm)	2	1.38	10.88	+9

Tableau 3- 1: résultats des calculs.

La puissance optique typique aux points référence coté émission de la station B pour 4 longueur d'onde on utilise la formule suivante :

Si $N=4$

$$P_{\text{total}} \text{ (dBm)} = P_{\text{single}} \text{ (dBm)} + 10 \log N \text{ (dBm)} \quad (3.3)$$

En trouve alors:

- la puissance à la sortie de l'OUT est égal : $1.34 + 10 \log N$
- la puissance à la sortie de M40 est égale : $1.38 + 10 \log N$
- la puissance à la sortie de l'amplificateur avec un atténuateur variable est égale : $+10 + 10 \log N$
- et la puissance à la sortie de FIU est égale : $+9 + 10 \log N$

3.5.2 La liaison entre les deux stations :

Les résultats de calcul entre les deux stations sont :

- La puissance optique émise de la station B: $9 + 10 \log N$ (dBm).
- La distance entre les deux stations : 53Km
- Atténuation du linge optique: 17dB.
- La puissance optique reçue par la station C: $-8 + 10 \log N$ (dBm).

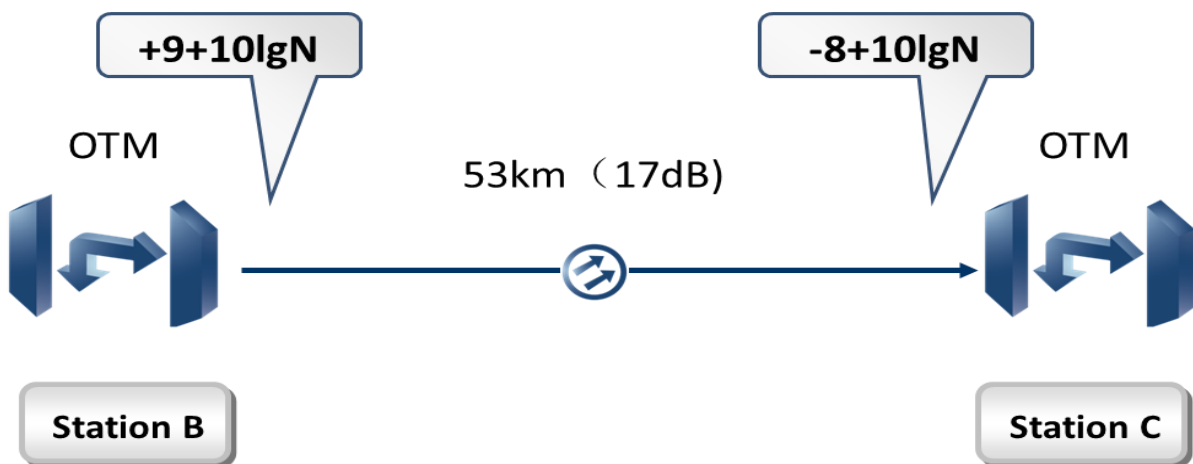


Figure 3- 11: Liaison point à point pour $N \lambda$.

3.5.2 Calcul de la puissance station C

La puissance optique typique aux points référence au niveau de la réception de la station C pour une longueur d'onde.

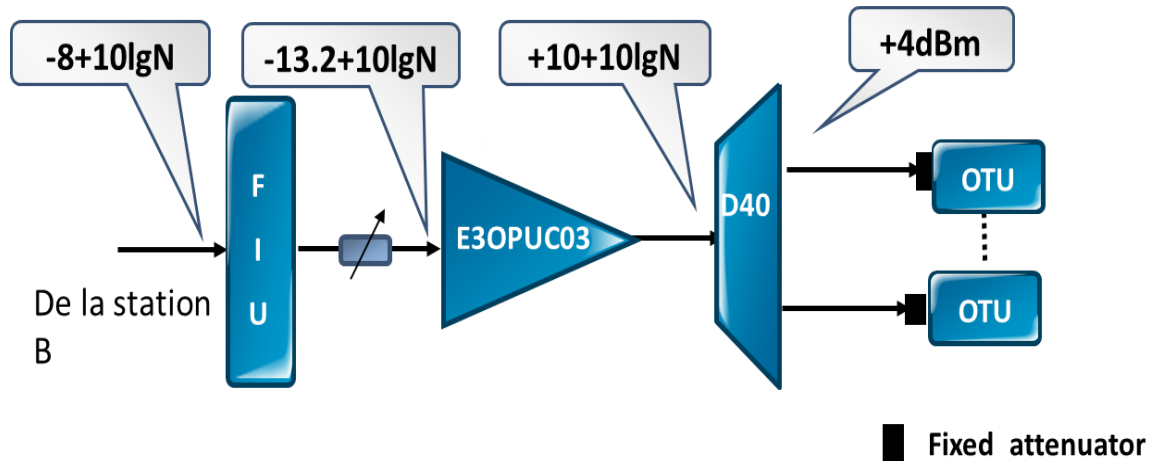


Figure 3- 12: L'architecture de la liaison de la station B [10].

- **1^{er} étape** : on calcul la puissance à la sortie de la carte FIU

$$P_s = P_e - IL(\text{FIU}) \quad (3.4)$$

- **2^{eme} étape** : pour les puissances d'entrées et sorties de l'amplificateur on a les valeurs standard pour une longueur d'onde définie par constructeur (les valeurs pour les quelle le fonctionnement de l'amplificateur est correct), Dans notre exemple : - 24/-1 dBm et le gain est fixe 23Db
- **3^{eme} étape** : on calcul la puissance à la sortie de démultiplexeur

$$P_s = P_e - IL(\text{D40}) \quad (3.5)$$

- **4^{eme} étape** : Et en fin il y a un atténuateur fixe sa dépend l'OTU qu'on utilise, dans notre exemple -9dBm (PIN).

	1 ^{er} étape	2 ^{eme} étape	3 ^{eme} étape	4 ^{eme} étape
Pe (dBm)	-8	-13.2	+10	10.88
Ps (dBm)	-9	+10	+4	-9

Tableau 3- 2: les différentes puissances de chaque étape.

La puissance optique typique aux points référence coté émission de la station B pour N=4 longueur d'onde :

- la puissance à la sortie de FIU est égale à:

$$-9+10\log N \quad (3.6)$$

- la puissance à la sortie de l'amplificateur avec un atténuateur variable est égale :

$$+10+10\log N \quad (3.7)$$

- la puissance à la sortie de D40 est égale : $+4+10\log N$

3.6 Le modèle de la simulation

Dans le système que nous allons étudier, on va utiliser 04 longueurs d'ondes ($\lambda_{12}=192.2\text{Thz}$, $\lambda_{13}=192.3\text{Thz}$, $\lambda_{14}=192.4\text{Thz}$, $\lambda_{15}=192.5\text{Thz}$) avec un espacement de 100Ghz.

L'exploitation des longueurs d'onde e doit être planifiée par rapport aux besoins de chaque station (capacité et systèmes a utilisé).

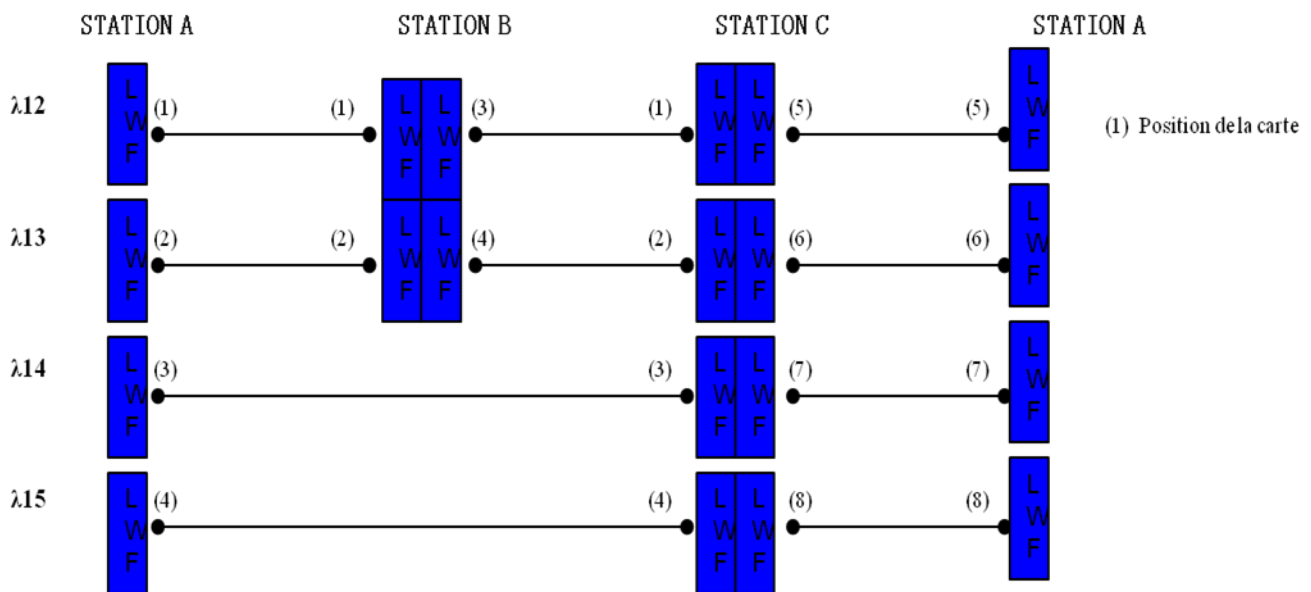


Figure 3- 13: la configuration de longueurs d'ondes.

3.7 Simulation de la chaine de transmission DWDM sous Optisystem

Nous allons décrire ici les trois parties d'un système de transmission optique DWDM de base. On a choisie 40 canaux DWDM chaque canal de débit 10Gb/s, et une fenêtre de 1.55 μm . Le choix de prendre la troisième fenêtre a été expliqué dans le premier chapitre. Le schéma synoptique de notre modèle et représenter sur le schéma suivant :



Figure 3- 14: schéma de bloc de la transmission DWDM.

3.7.1 Partie émission

L'émetteur est constitué d'une source optique émettant une onde pure, suivie d'un modulateur externe. La source choisit dans la simulation est une source continue (laser a cavité externe). Cette source émet à 193.1 THz avec une puissance égale à 4dBm. On utilise un multiplexeur idéal de 4 ports et une perte d'insertion (IL) égal à 6 dB, chaque longueur d'onde prendre une puissance de 1.347dBm. A la sortie de multiplexeur on obtient une puissance totale de 1.3702dBm.

Remarque: les longueurs d'ondes prennent des puissances identiques, et les paramètres ont été effectués de la manière suivante:

Fréquence (THz)	Longueur d'onde (nm)	Puissance (dBm)
193.1	1552.5244	-4.7779652
193.2	1551.7208	-4.7929054
193.3	1550.918	-4.7258121
193.4	1550.1161	-4.7820886

Figure 3- 15: les puissances d'entrée.

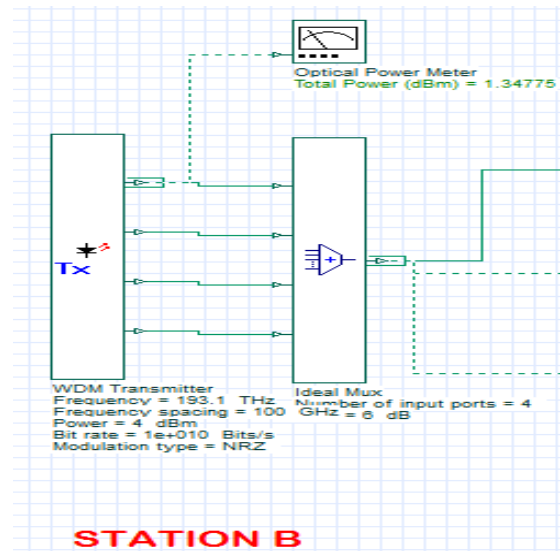


Figure 3- 16: la simulation du bloc émetteur.

3.7.2 Partie ligne de transmission

Dans cette partie, nous avons une fibre monomode (SMF), caractérisée par :

- Une longueur de la fibre LSMF de 53Km,
- une longueur d'onde égale 1550 nm,
- une atténuation de l'ordre de 0.3 dB,
- d'une dispersion chromatique de l'ordre de 17 Ps/nm/km.

Nous avons également une fibre compensatrice de dispersion (DCF)

- de longueur *LDCF*,
- une longueur d'onde égale à 1550 nm,
- avec une atténuation de 0.5 dB,
- une dispersion Chromatique négative de - 85 Ps/nm/km,
- Avec deux atténuateurs variables optiques caractérisés par un coefficient d'atténuation Le 1^{er} de 14dBm et le 2eme 19dBm,
- et enfin deux amplificateurs optiques dopes a l'erbium de gain $G_1=23\text{dB}$ et $G_2=23\text{dB}$.

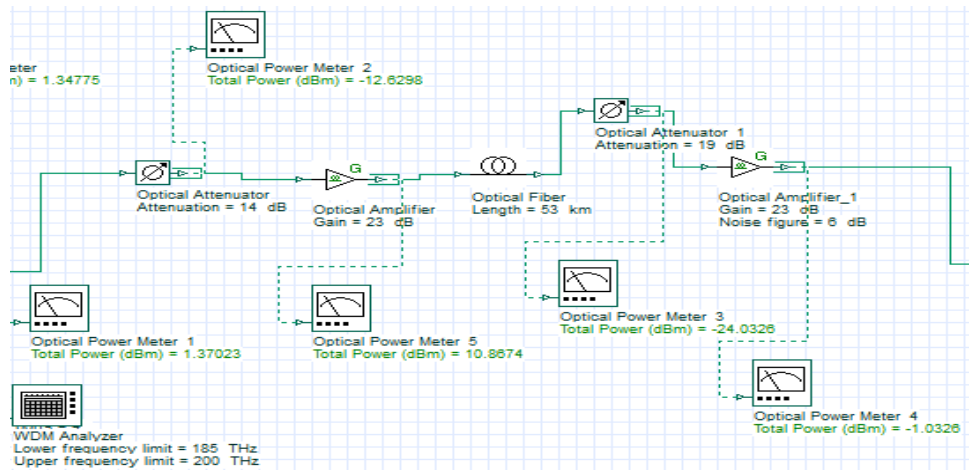


Figure 3- 17: la simulation du bloc de transmission.

3.7.3 Partie réception

Bien que certains dispositifs soient plus sensibles, les photodétecteurs à semi-conducteurs présentent les avantages d'être rapides et faciles à utiliser. Le photodétecteur utilisé est de type photodiode PIN. Les paramètres de cette photodiode sont la sensibilité égale à 1 A/W, et le courant d'obscurité qui est de l'ordre de 10 nA.

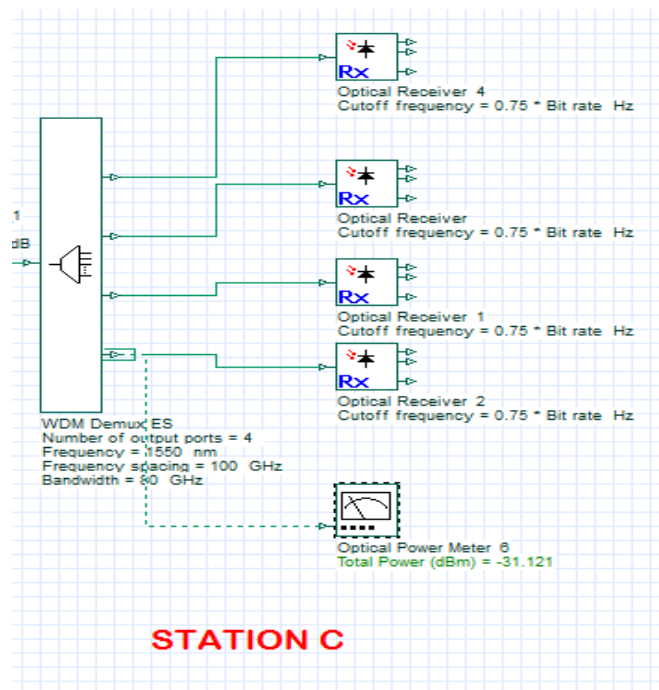


Figure 3- 18: la simulation du bloc récepteur.

3.7.4 Modèle globale de la simulation

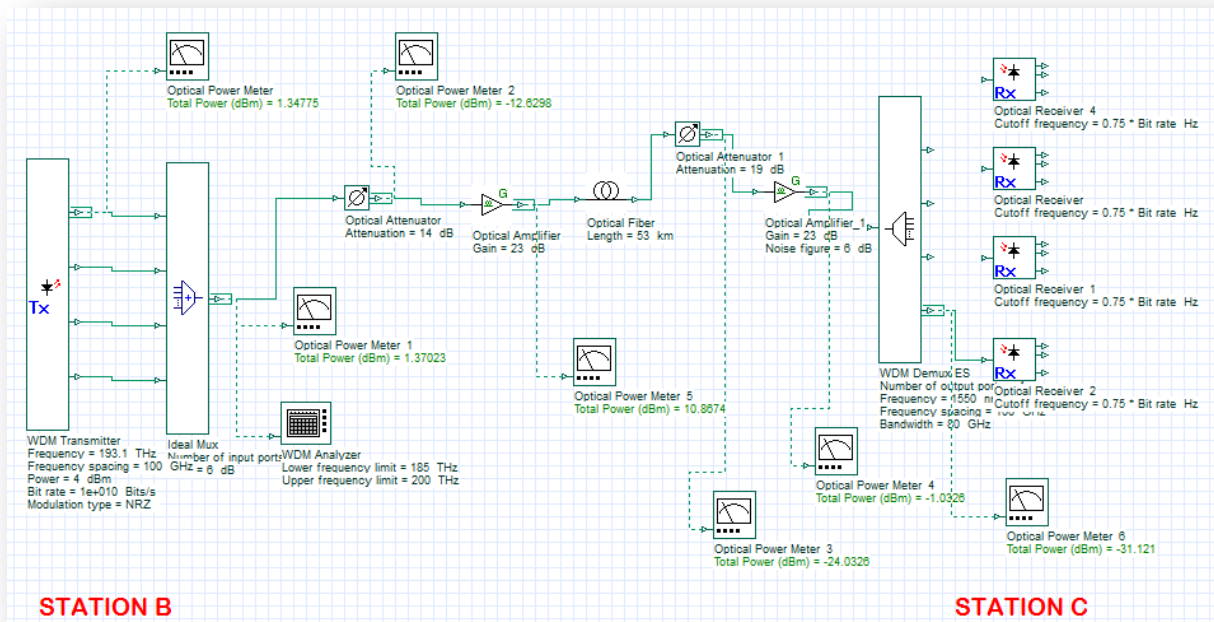


Figure 3- 19: Modèle de la simulation.

3.8 Résultats de la simulation

Les résultats de simulation pour une seule longueur d’onde ($\lambda=1552.5244$ nm) d’une puissance optique typique aux points de référence sont:

3.8.1 Résultats de l’émission

- **1^{er} étape** : la puissance de la sortie ou bien la puissance d’émission de laser,
- **2^{eme} étape** : la puissance après le multiplexeur,
- **3^{eme} étape** : pour les puissances d’entrées et sorties de l’amplificateur, dans notre exemple le gain est fixe 23dB, On varie l’atténuateur jusqu’au obtenir la valeur (-12dBm) à l’entrée et +10 à la sortie.

On résume les résultats dans le tableau ci-dessous :

	Etape1	Etape2	Etape3
La puissance (dBm)	1.347	1.370	-12.62/+10.86

Tableau 3- 3: les résultats de l’émission.

3.8.2 Résultats de la ligne de transmission

La puissance entre les deux stations :

- La puissance optique émise de la station B: 5.81 (dBm),
- La distance entre les deux stations : 53Km,
- Atténuation du linge optique: 17dB,
- La puissance optique reçue par la station B: -15 (dBm).

3.8.3 Résultats de réception

La puissance optique typique aux points référence coté réception de la station C pour une seule longueur d'onde

- **1^{er} étape** : pour les puissances d'entrées et sorties de 2eme l'amplificateur, le gain est fixe 23dB
- **2^{eme} étape** : la puissance de démultiplexeur à l'entrée/sortie
- **3^{eme} étape** : Et en fin il y a un atténuateur fixe sa dépend l'OTU qu'on utilise

On résume les résultats dans le tableau suivant:

	Etape1	Etape2	Etape3
La puissance (dBm)	-24.03/-1.03	-1.03/-27.001	-9dBm (PIN)

Tableau 3- 4: Les résultats de la réception.

3.9 Les Puissances optiques de chaque Nœuds

3.9.1 Les résultats réels

Entre A et B :

- la distance : 50 Km
- L'atténuation : 24 dB
- OSNR : **29.953dB/29.953 dB**

Entre A et C :

- la distance : 78 Km
- L'atténuation : 27 dB
- OSNR : **27.857dB/27.857 dB**

Entre B et C :

- la distance : Km 53Km
- L'atténuation : 17 dB
- OSNR : 30.773dB/30.773 dB

3.9.2 La puissance à chaque station

Les puissances de chaque station d'après les résultats réels d'Algérie télécom est comme suit:

DIRECTION	CARTES	PORT	
		IN	OUT
VERS la station C	M40	/	+1,6
	OBU03 TX	-9,6	+13.4
	OAU03 RX	-13,2	+10,1
	D40	+9,6	/

Tableau 3- 5: Les puissances IN/OUT vers la station C.

DIRECTION	CARTES	PORT	
		IN	OUT
VERS la station B	M40	/	+1,5
	OBU03 TX	-8,3	+16,5
	OAU03 RX	-13,2	+10,1
	D40	+9,6	/

Tableau 3- 6: Les puissances IN/OUT vers la station B.

DIRECTION	CARTES	PORT	
		IN	OUT
VERS la station A	M40	/	+0,7
	OBU03 TX	-10,3	+13,8
	OAU03 RX	-14,7	+9,7
	D40	+10,8	/

Tableau 3- 7: Les puissances IN/OUT vers la station A.

3.9.3 Exemples des services exploités sur le réseau

En peut faire une boucle de système DWDM comme le schéma ci-dessous :

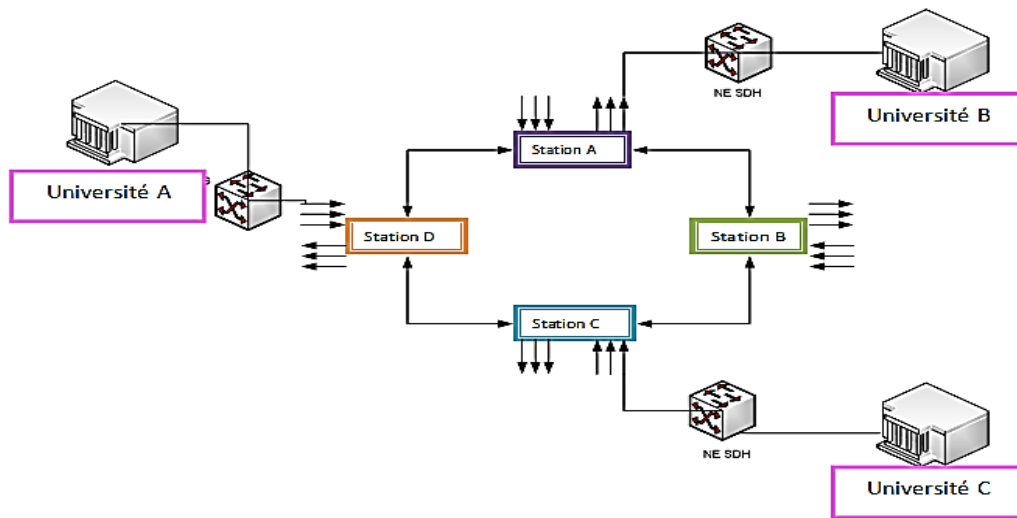


Figure 3- 20: Schéma d'une boucle de système DWDM.

3.10 Comparaison

Les tableaux suivants représentent la comparaison entre les deux résultats :

Station	Station B		Station C	
	Algérie télécom	simulation	Algérie télécom	simulation
M40	Out=1.5 (dBm)	Out=1.347 (dBm)		
OBU	out=+13.4 (dBm)	Out=+10.86 (dBm)	in= -13.1 (dBm)	In=-13 (dBm)
	in=-8.3 (dBm)	In= -6.59 (dBm)	out=+10.2 (dBm)	Out=+10(dBm)
D40			In=+9.7 (dBm)	In=+10 (dBm)

Tableau 3- 8: comparaison des Résultats réel et simulation.

Interprétation:

D'après le tableau 3-8 on constate que les résultats sont identiques. Et on remarque que la simulation sous Optisystem est parfaite par rapport aux autres simulateurs, il donne des bon résultats.

3.11 Conclusion

Notre simulation sur le logiciel OPTISYSTEM, nous a permis d'apprendre l'utilisation de ce logiciel pour simuler une transmission optique WDM de base. Et pour diminuer la dégradation des signaux de sortie et optimiser la transmission il est nécessaire d'utiliser des amplificateurs comme EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier), des filtres accordables, des

lasers accordables, des multiplexeurs à insertion-extraction optiques et des commutateurs optiques.

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation de la technologie WDM (multiplexage en longueur d'onde) permet d'exploiter complètement la très large bande passante de la fibre optique, donc on peut atteindre des très hauts débits (quelques Tbit/s). Pour cela on retrouve les deux axes déjà mentionnés augmentation du nombre de canaux et augmentation du débit par canal.

La technologie WDM permet d'améliorer des composants optiques adaptatifs avec le haut débit tels que :

- L'amplificateur optique à fibre dopé en erbium,
- Les filtres accordables, et laser accordable,
- Le multiplexeur à insertion-extraction optique,
- Les commutateurs optiques.

Pour accroître la capacité de transmission, trois axes d'investigations sont possibles :

- augmenter le débit par longueur d'onde,
- augmenter le nombre de longueur d'onde,
- augmenter le nombre de fibres par câble.

La demande en capacité continuant d'augmenter, les nouveaux câbles à fibres optiques connaissent d'importants progrès technologiques afin de transporter davantage de trafic. Les transmissions d'informations sur fibre optique à haut débit requièrent des sources monochromatiques ($\Delta\lambda \ll 1\text{nm}$), telle que les diodes lasers (DL) pour que la dispersion ne soit pas un facteur limitant. Une puissance $>1\text{mW}$ est nécessaire pour compenser les pertes par absorption dans la fibre, ce qui permet d'atteindre des distances de propagation $> 70\text{ km}$. Notre stage de deux mois portait sur l'étude de réseaux de transmission optique qui apparaît comme support de transmission privilégié. Vu les privilèges en débits et en facilités d'exploitation qu'offre la SDH comme mode de transmission numérique face à d'autres tel que la PDH, ALGERIE TELECOM a décidé d'en faire sa nouvelle hiérarchie numérique (SDH) et sa hiérarchie optique (DWDM). Au terme de notre stage, nous pouvons dire que cela nous a donné l'opportunité en tant qu'étudiants de compléter les connaissances théoriques et pratiques reçues durant l'année scolaire.

ANNEXE

Tableaux des références des longueurs d'ondes par rapport au fréquences :

No.	Central frequency(T Hz)	Wavelength(nm)	No.	Central frequency(T Hz)	Wavelength(nm)	No.	Central frequency(T Hz)	Wavelength(nm)	No.	Central frequency(T Hz)	Wavelength(nm)
1	192.1	1560.61	11	193.1	1552.53	21	194.1	1544.53	31	195.1	1536.61
2	192.2	1559.80	12	193.2	1551.72	22	194.2	1543.73	32	195.2	1535.82
3	192.3	1558.99	13	193.3	1550.92	23	194.3	1542.94	33	195.3	1535.04
4	192.4	1558.18	14	193.4	1550.12	24	194.4	1542.15	34	195.4	1534.25
5	192.5	1557.37	15	193.5	1549.32	25	194.5	1541.35	35	195.5	1533.47
6	192.6	1556.56	16	193.6	1548.52	26	194.6	1540.56	36	195.6	1532.68
7	192.7	1555.75	17	193.7	1547.72	27	194.7	1539.77	37	195.7	1531.90
8	192.8	1554.94	18	193.8	1546.92	28	194.8	1538.98	38	195.8	1531.12
9	192.9	1554.14	19	193.9	1546.12	29	194.9	1538.19	39	195.9	1530.34
10	193.0	1553.33	20	194.0	1545.32	30	195.0	1537.40	40	196.0	1529.56

- Coefficient d'atténuation fibre G652 0.3 dB/km
- Les paramètres de la station B :
 - ① Puissance d'émission OTU: -2dBm.
 - ② IL M40: 6dB
 - ③ Atténuateur variable
 - ④ E3OBUC03 pour une longueur d'onde la puissance entrée/sortie -19/+4dBm, gain: 23 dB.
 - ⑤ IL of FIU: 1dB.
- Les paramètres de la station C:
 - ① IL FIU: 1dB.
 - ② Le seuil IL VOA: 2dB.
 - ③ E3OPUC03 pour une longueur d'onde la puissance entrée/sortie -24/-1 dBm, gain: 23 dB.
 - ④ IL D40: 6dB.
 - ⑤ Puissance de réception de OTU: -17dBm (APD), -9dBm (PIN).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Bensaad Billel, Benmoussa Sadok: 'ETUDE ET SIMULATION D'UNE TRANSMISSION WDM' Université Saad Dahleb De Blida, 2011-2012.
- [2] M. A. Bencherchali 'Cours-Fondamental-D_Opto-09-Avril-2014-Définitif-1', Université Saad Dahleb De Blida.
- [3] Bakonirina Heliniaina Mialisoa 'MODELISATION DES RESEAUX OPTIQUES WDM ET APPLICATION DES HEURISTIQUES AUX ROUTAGES OPTIQUES', Université d'antananarivo, 2008.
- [4] Slimi Ouidette, 'MICROLENTILLAGE D'UNE FIBRE OPTIQUE', Université Ferhat Abbas –Sétif Ufas (Algérie), 2011.
- [5] Melle. Bouzidi Tani Asma, 'Effet de l'espacement inter-canal et du débit binaire sur une liaison WDM', UNIVERSITE ABOU-BAKER BELKAID – TELMCEN (Algérie), 2012/2013.
- [6] Shaowen Song, 'Le DWDM et les réseaux à intégration de l'avenir' IEEE Canadian Review- Summer, 1999.
- [9] Huawei, 'Otc000003 Wdm Principle Issue1.22', 2006.
- [10] Huawei, 'OTC304202 OptiX Metro WDM Optical Power Calculation ISSUE1.52', 2006.

WEBOGRAPHIES

[7] <http://www.memoireonline.com/04/10/3402/Etude-sur-limpact-de-la-transmission-optique-dans-un-reseau-multiservices-cas-de-rnis.html>

[8] <http://chrichri.org/fibre/>