

Liste des figures

Figure 1: Alcatel-Lucent Maroc	6
Figure 2: Organigramme d'Alcatel-Lucent Maroc.....	7
Figure 3: Événement importants dans le développement de l'optique(source Alcatel-Lucent)	10
Figure 4: Spectre lumineux	12
Figure 5: Composants de la fibre optique.....	13
Figure 6: Transmission dans les trois types de fibres optiques [15].....	14
Figure 7:Fenêtres de transmission dans la fibre optique	17
Figure 8: Schéma fonctionnel du WDM [6].....	19
Figure 9: WDM unidirectionnel ou bidirectionnel	20
Figure 10: L'espacement inter-longueurs d'onde	21
Figure 11: Peigne de fréquence DWDM.....	22
Figure 12: OADM [15].....	23
Figure 13: Multiplexeur à insertion/extraction MIE.....	23
Figure 14: Répartiteur avec MIE.....	24
Figure 15: Brasseur reconfigurable	25
Figure 16: Diagramme de Gantt [17].	30
Figure 17: Liaison Dakhla -- Greguerate.....	32
Figure 18: Liaison Dakhla- Laâyoune	32
Figure 19: Liaison Agadir- Laâyoune	33
Figure 20:"Wavelength Selective Switch" à base de MEMS.....	40
Figure 21:Deux réseaux en anneau reliés par un ROADM.	41
Figure 22:Schéma d'un WSS-ROADM coloré.	41
Figure 23:Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM".	42
Figure 24: Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM" de degré 4.....	43
Figure 25: Diagramme de l'OTN	44
Figure 26: Agrégation de service [9].....	46
Figure 27: OTN prise en charge divers protocoles [10].	46
Figure 28: Format de la Trame OTN [9].	47
Figure 29: Conteneur OTN [10].	48
Figure 30: Structure en couche de L'architecture OTN	48
Figure 31: Hiérarchie de l'OTN [10].....	49
Figure 32: Architecture logique d'ASON [12].....	50
Figure 33: Composants de GMPLS.....	52
Figure 34: Fonctionnement de GMPLS [8].....	53
Figure 35: Fonctionnement de GMPLS	54
Figure 36: Agadir-Laâyoune	58
Figure 37: Dakhla-Laâyoune	58
Figure 38: Dakhla-Greguerate.....	59
Figure 39 :1830 PSS-32	60
Figure 40 :1830 PSS-16	60
Figure 41:1830 PSS-36	60

Liste des tableaux

Tableau 1: Fiche d'identité d'Alcatel-Lucent.....	5
Tableau 2: Les caractéristiques de C/D WDM [13].	22
Tableau 3: Tronçon Dakhla- Greguerate.....	32
Tableau 4: Tronçon Dakhla- Laâyoune.....	33
Tableau 5:Tronçon Agadir- Laâyoune	34
Tableau 6: Matrice de trafic Greguerate- Dakhla.....	36
Tableau 7: Matrice de trafic Dakhla- Laâyoune.....	36
Tableau 8: Matrice de trafic Laâyoune- Agadir	37
Tableau 9: Fibre G.652.....	39
Tableau 10: Débits [9].....	46
Tableau 11: Types de DCM	55
Tableau 12: Le type de DCM par tronçon.....	56

Table des matières

<i>Dédicace</i>	i
<i>Remerciement</i>	iii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	v
Résumé	ix
Abstract	x
ملخص	xi
Introduction générale	1
Chapitre 1 : L'organisme d'accueil	3
1. A propos de l'entreprise	4
1.1 Présentation générale	4
2. Alcatel-Lucent Maroc	6
2.1 Présentation de l'entreprise	6
2.2 L'organigramme	7
Chapitre 2 : La technologie WDM	8
Introduction	9
1. Pourquoi les technologies optiques	10
2. L'optique, un moyen de répondre à la demande en large bande	11
3. Le spectre de la lumière	12
4. Support de transmission	12
5. Caractéristiques de la fibre optique	14
5.1 L'atténuation	14
5.2 La dispersion chromatique	15
5.3 La dispersion modale de polarisation	15
5.4 Fenêtre de transmission	16
5.5 Avantage de la fibre sur le cuivre	17
6. La technologie WDM	18
6.1 Principe de fonctionnement	18
6.2 Composant d'une liaison WDM	22
6.2.1 Multiplexeur à insertion/extraction	23
6.2.2 Les brasseurs optiques "Optical Cross Connect"	24
6.2.3 Les amplificateurs optiques	25

6.2.4	Les modules de compensation de la dispersion.....	26
	Conclusion.....	28
	Chapitre 3 : Liaison Greguerate---Agadir	29
	Introduction	30
1.	Cahier de charges	32
1.1	Règles d'ingénierie	34
1.2	Les équipements ROADM.....	35
	Les équipements ROADM doivent supporter les fonctionnalités suivantes :.....	35
1.3	Les amplificateurs OLA	35
1.4	Cartes transpondeurs	35
1.5	Les atténuateurs optiques.....	35
1.6	Matrices de trafic	36
2.	Les ROADM	39
2.1	Différentes architectures des ROADMs.....	39
2.2	ROADM basé sur un WSS	40
2.2.1	WSS avec insertion et extraction fixe (colored).....	41
2.2.2	WSS avec insertion et extraction variable (colorless)	42
2.3	Impact des ROADM	43
3.	La technologie OTN	44
3.1	Avantages de l'OTN	45
3.2	Agrégation de service	45
3.3	Construction d'un conteneur OTN	47
3.4	Hiérarchie de l'OTN	49
4.	La technologie ASON	49
4.1	La nécessité d'ASON	49
4.2	Architecture logique d'ASON.....	50
5.	Le protocole GMPLS	51
5.1	Définition.....	52
5.2	Principe de fonctionnement.....	52
5.3	Le plan de contrôle GMPLS.....	54
6.	Bilan de liaison.....	55
6.1	Bilan de dispersion	55
6.2	Bilan de puissance	56
7.	Produits de la série 1830 PSS NG-WDM Alcatel Lucent.....	59

7.1	Composantes du 1830 PSS NG-WDM Alcatel Lucent	60
7.2	Avantages de la famille Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/PSS-32/PSS-16	61
7.3	Fonctionnement de l'équipement Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/PSS-32/PSS-16	61
	Conclusion.....	62
	Conclusion générale	63
	<i>Annexe</i>	64
	<i>Glossaire</i>	72
	<i>Bibliographie</i>	75

Résumé

Le projet qu'on a réalisé pour le compte de Maroc Télécom et qui avait comme objectif l'interconnexion de la ville AGADIR avec Greguerate par une liaison optique n'est qu'une continuité d'une nouvelle politique assurant les services nouvelle génération et une tendance incontestable pour combler la hausse demande du haut débit.

En effet, dans le cadre de ce travail réalisé au sein d'Alcatel-Lucent le sous-traitant de ce projet, nous étions amené à étudier le schéma du réseau de Maroc Télécom, étudier les équipements NG-WDM d'Alcatel-Lucent utilisés dans l'élaboration de ce projet, établir le bilan de liaison où on a calculé les niveaux de puissances nécessaires pour chaque site intervenant entre les deux villes et à la fin la réalisation d'une maquette au laboratoire d'Alcatel-Lucent pour valider les résultats obtenus.

Abstract

The project we conducted on behalf of Morocco Telecom in which the goal was the interconnection of the AGADIR city and Greguerate by an optical link is just a continuation of a new policy providing services and a new generation and also a tendency to fill up the application of broadband. Indeed, within this work performed within the Alcatel-Lucent, the subcontractor for this project, we were tasked to study the network diagram of Morocco Telecom, study the Alcatel-Lucent's NG-WDM equipment used in the development of this project, establish the link budget in which we calculated the power levels required for each site occurring between the two cities and finally the production of an experience in the laboratory of Alcatel-Lucent to validate the results obtained.

Introduction générale

De nos jours, les réseaux ont une très grande importance dans notre utilisation quotidienne au niveau du transport des données. Que ce soit pour le travail ou le loisir, le réseau permet l'échange d'informations vitales dans notre société de communication actuelle. La course aux débits est le moteur d'une dynamique inaltérable. L'apparition de nouvelles technologies permettant des débits toujours plus élevés entraîne l'élaboration et la mise sur le marché d'applications toujours plus gourmandes en ressources. La fibre optique s'inscrit dans cette mouvance et apporte des améliorations considérables en termes de débits, mais pas uniquement. En effet la fibre optique est plus fiable, plus performante et a un coût de revient moindre que les câbles cuivrés. Cependant de nouveaux problèmes se posent, notamment en termes de routage. En effet, le traitement des photons qui circulent dans la fibre optique n'est pas aussi facile ni aussi bien maîtrisé que le traitement des signaux électriques dans les réseaux cuivrés. Dans un premier temps, des solutions de conversions opto-électriques ont été mises en place. Les signaux optiques étant convertis en signaux électriques, un routeur désigne la route qu'ils doivent emprunter, puis les réémet sous forme de signaux optiques. Cependant cette façon de procéder présente l'inconvénient d'être assez lente. Des progrès ayant été effectués dans le domaine du routage optique, la mise en place de réseaux tout optique est aujourd'hui envisageable.

Le haut débit est lié aux grandes fréquences auxquelles doivent fonctionner les équipements électroniques et/ou optoélectroniques du réseau (commutateur, multiplexeurs,...) et aux grandes capacités des systèmes de transmission. Du point de vue de la transmission, il n'existe plus de réel obstacle. L'utilisation des fibres optiques permet la transmission sur de très grandes distances de l'information avec des taux d'erreurs négligeables et un débit très important. L'électronique reste par contre une contrainte importante. L'exécution des fonctions de protocoles compliqués, tels que ceux implémentés dans les réseaux de paquets existants, ne peut être réalisée aux débits requis et à des coûts raisonnables. La conception de réseaux à haut débit passe donc par la simplification de ces protocoles.

Une liaison optique est réalisée principalement à l'aide d'un Laser, d'une fibre optique conduisant le signal et un photo-détecteur. L'émetteur transforme la suite de bits à transmettre en modulation d'une onde optique porteuse. La fréquence de cette onde détermine la bande passante disponible sur le lien car au plus un bit par période peut être transmis. Ainsi l'un des

points forts de la communication optique est la bande passante qu'elle peut utiliser puisque les fréquences des signaux est de l'ordre des GHz.

L'autre intérêt de la communication optique est dû aux fibres optiques, celles-ci sont moins volumineuses, plus légères et moins chères que les câbles électriques utilisés dans les réseaux des générations précédentes. De plus elles présentent un taux d'atténuation du signal bien inférieur à ceux des câbles en cuivre. En effet, en plaçant des répéteurs le long de la ligne, il est facile et peu coûteux d'obtenir des liaisons optiques de plusieurs milliers de kilomètres. Ces deux atouts, faible coût et faible taux de perte, ont permis l'explosion des liaisons intercontinentale.

Dans ce présent document nous allons voir d'abord une petite présentation de l'organisme d'accueil Alcatel-Lucent Maroc où on va voir l'organisation de l'entreprise en termes d'hierarchie et activités, ensuite une partie descriptive de la technologie WDM où on va dévoiler son aspect technique ainsi que les avantages de la transmission optique vis-à-vis celle sur la cuivre et finalement dans le dernier chapitre une exploration complète sur la liaison NG-WDM entre Agadir et Greguerate pour l'opérateur Maroc Telecom.

Chapitre 1 : L'organisme d'accueil

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

1. A propos de l'entreprise

1.1 Présentation générale

Alcatel-Lucent est le nom de la société née en 2006 de la fusion entre Alcatel et Lucent. La fusion de ces deux géants de la télécommunication a permis à Alcatel-Lucent, en février 2007, de devenir, le deuxième équipementier télécoms et réseaux au niveau mondial derrière l'américain Cisco System et devant le suédois-Ericsson, et le germano-finlandais Nokia Siemens Networks.

Alcatel-Lucent a pour mission d'améliorer le quotidien de chacun en transformant la manière dont le monde communique. Alcatel-Lucent propose des solutions qui permettent aux fournisseurs de services, aux entreprises et aux administrations du monde entier d'offrir des services voix, données et vidéo à leurs propres clients. Leader dans les réseaux haut débit fixes, mobiles et convergés, les technologies IP, les applications et les services, Alcatel-Lucent développe des solutions complètes qui rendent possibles des services de communications innovants pour les utilisateurs, qu'ils soient chez eux, au travail ou en déplacement.

Avec plus de 77 000 salariés et présent dans 130 pays, Alcatel-Lucent est un partenaire local avec une dimension internationale. Le groupe dispose de l'une des plus grandes capacités de recherche, technologie et innovation dédiées aux télécommunications connue sous le nom d'Alcatel-Lucent Bell Labs et d'une équipe de services la plus expérimentée de l'industrie. Alcatel-Lucent qui a réalisé des revenus de 16,98 milliards d'euros en 2008, est une société de droit français, avec son siège social à Paris.

Voici une fiche d'identité d'ALU :

Raison Sociale	Alcatel-Lucent
Forme juridique	Société anonyme
Date de création	1975
Capital social	16,98milliards d'euros
Secteur d'activité	Développement des solutions des Télécommunications
Adresse	11000 Salé Route de Meknès, km8
Téléphone	0537819901
Faxe	0537802663
Effectif	520 employés
Site Web	www.alcatel-lucent.com

Tableau 1: Fiche d'identité d'Alcatel-Lucent

Privilégiant des solutions complètes à forte valeur ajoutée pour ses clients, Alcatel Lucent est organisé en quatre groupes d'activités et trois régions géographiques.

Les quatre groupes d'activités sont :

- ✓ Le Groupe Logiciels Applicatifs a pour mission de développer et de maintenir des produits logiciels innovants pour enrichir la base de données clients.
- ✓ Le Groupe Produits Opérateurs a pour mission de répondre aux besoins des fournisseurs de services fixe, mobile et convergent et de leur fournir des solutions de communication de bout-en-bout.
- ✓ Le Groupe Produits Entreprise a pour mission de répondre aux besoins des entreprises ainsi qu'à l'Industrie et au Secteur Public.
- ✓ Le Groupe Services conçoit, déploie, gère des réseaux et en assure la maintenance dans le monde entier.

Les régions d'Alcatel-Lucent sont :

- ✓ La région Amérique.
- ✓ La région Europe, Moyen-Orient et Afrique.
- ✓ La région Asie Pacifique et Chine.

2. Alcatel-Lucent Maroc

2.1 Présentation de l'entreprise

Présente au Maroc depuis 1975, Alcatel a su accompagner ce pays sur les voies du développement en participant pleinement aux projets de construction des télécommunications. En 1989 le groupe a créé une filiale au Maroc dont le siège est installé à Salé, comptant renforcer ainsi sa présence à long terme au Maroc.



Figure 1: Alcatel-Lucent Maroc

L'entreprise déploie les technologies suivantes :

- ✓ Cœur de réseaux fixe et mobile.
- ✓ Réseaux intelligents.
- ✓ Réseaux de données.
- ✓ Internet haut débit. Applications et développements.
- ✓ Transmissions par faisceaux hertziens.
- ✓ Equipements sur fibre optique.
- ✓ Câbles sous-marins.

2.2 L'organigramme

La structure d'Alcatel-Lucent comprend un certain nombre de centres opérationnels et fonctionnels, supervisés par la direction générale qui assure le pilotage et la coordination stratégique avec la maison mère. Cette structure est présentée sur l'organigramme suivant, dans lequel on trouve l'ordre hiérarchique, les fonctions, les taches existantes et leurs répartitions.

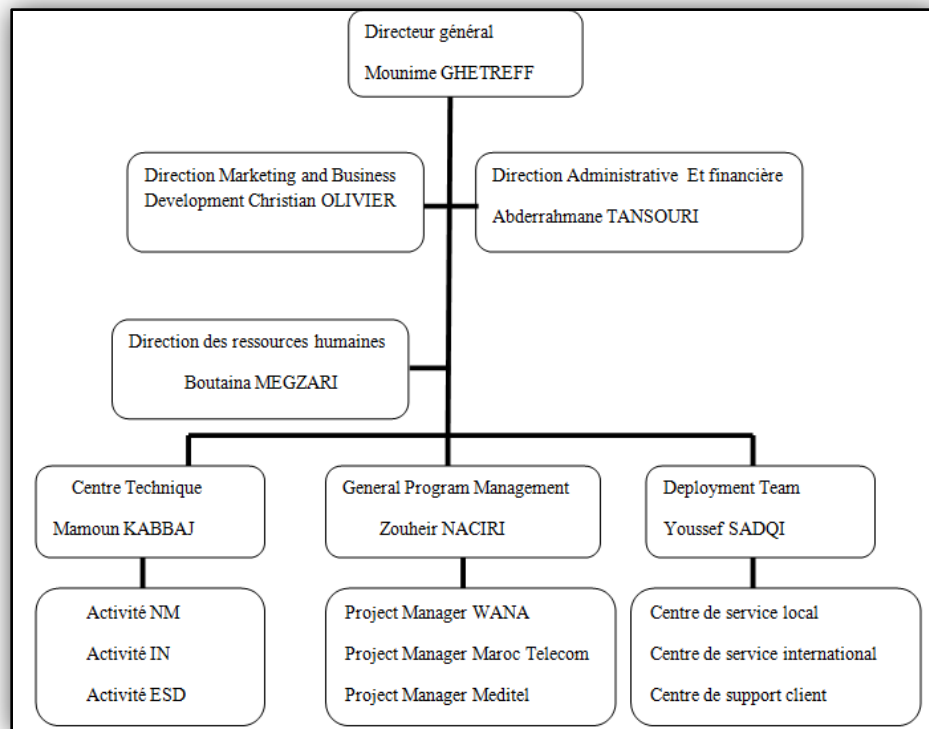


Figure 2: Organigramme d'Alcatel-Lucent Maroc

Chapitre 2 : La technologie WDM

Introduction

Alors que les systèmes de transmission ne reposaient que sur l'utilisation du multiplexage temporel, pour la transmission de 155 Mb/s, 622 Mb/s, 2,5 Gb/s, 10 Gb/s, 40 Gb/s sur une seule longueur d'onde, une nouvelle génération de systèmes est apparue au début des années 90, mettant en œuvre le multiplexage de longueurs d'onde.

Au début des années 50, l'idée de transmettre des signaux à haut débit en utilisant des porteuses dans les régions optiques était déjà établie. Malheureusement, à cette époque là, il n'était disponibles ni source de lumière, ni milieu de transmission appropriés. En 1960, suite à l'invention de la diode laser, l'attention des chercheurs s'est focalisée sur le développement d'un milieu de transmission adéquate.

A la fin des années 60, le concept de confinement de la lumière, ainsi que la possibilité d'utiliser des fibres optiques, comme milieu de transmission étaient largement diffusés. Le seul problème qui restait à résoudre, était le haut niveau de perte de propagation qui, à l'époque atteignait 1000 dB/km.

Au début des années 70, deux événements ont beaucoup favorisé le développement des transmissions par fibres optiques. D'une part, une première diode laser a été réalisée. D'autre part, des fibres optiques avec des atténuations de l'ordre de 20 dB/km, pour des longueurs d'onde proche du micron, ont été développées.

La 1^{er} génération commerciale de système de communication à fibre optique est disponible dès 1980, (par fibre multimode en silice à $\lambda = 0,8\mu\text{m}$ et un répéteur tous les 10 km), atteignant ainsi un débit de 45 Mb/s. En même temps une 2^{ème} génération voit le jour, mais cette fois-ci avec des fibres optiques à $\lambda = 1,3\mu\text{m}$.

A la fin des années 80, grâce aux fibres monomodes, étaient disponibles sur le marché, des systèmes avec des débits de transmission de 1,7 Gb/s, et des séparations entre répéteurs de 50 km avec des fibres monomodes de silice, présentant une atténuation d'environ 0,6 dB/km à $\lambda = 1,3\mu\text{m}$. D'autre part, le niveau d'atténuation le plus faible, lui se trouve à $\lambda = 1,55\mu\text{m}$. Ceci a motivé le développement d'une troisième génération de systèmes de transmission optique.

En 1989, les systèmes utilisent la longueur d'onde à $1,55\mu\text{m}$ avec un débit de 10 Gb/s. Cependant pour atteindre ce débit de transmission sur de longue distance, il aura été

nécessaire d'utiliser des diodes lasers monomodes et des fibres à dispersion décalée. Pour les systèmes de 3ème génération, les distances de régénération atteignent 60 à 70 km en utilisant le schéma classique de la détection d'amplitude. En 1990, les amplificateurs optiques dopés à l'erbium (EDFA) apparaissent, ils introduisent un gain de 40 dB, séparés de 60~100 km, ils permettent ainsi des liens de transmissions sur plusieurs milliers de kilomètres offrant une régénération purement optique.

Nous voilà maintenant entrés dans la 4ème génération, avec les techniques de multiplexage temporel (TDM) et multiplexage en longueur d'onde (WDM), couplé aux amplificateurs optiques, sources laser accordables en longueur d'onde. Cela permet actuellement d'obtenir des débits de transmission de l'ordre de 40 Gb/s sur des dizaines de milliers de kilomètres.

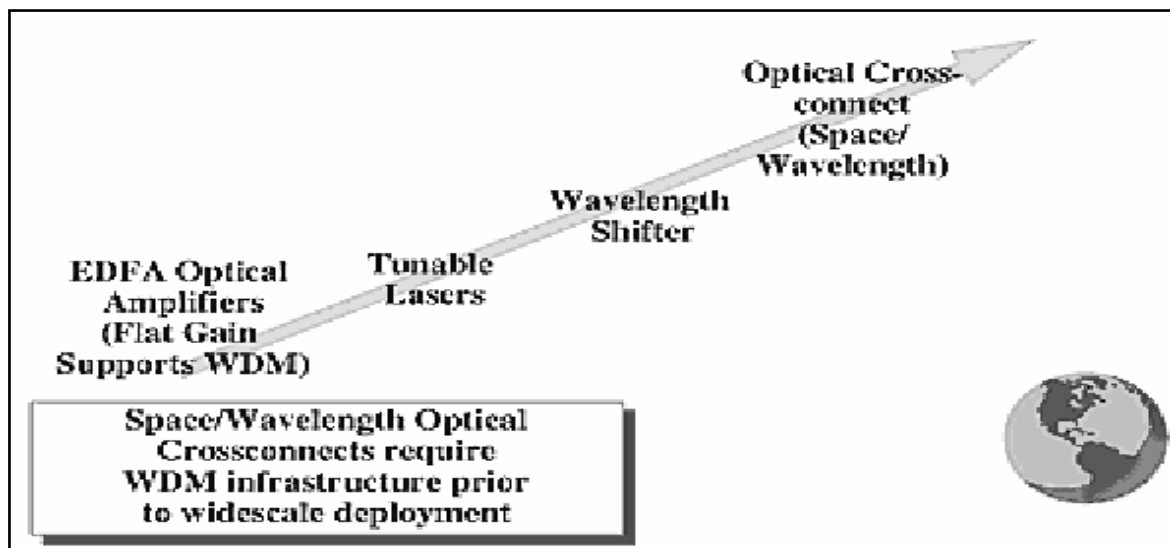


Figure 3: Événement importants dans le développement de l'optique(source Alcatel-Lucent)

Nous allons donc voir dans ce chapitre l'intérêt de la transmission optique à travers la technologie de multiplexage WDM et la NG-WDM, les principes de fonctionnement ainsi que les différents équipements qui interagissent tout au long d'une liaison optique.

1. Pourquoi les technologies optiques

Dans le domaine optique, la fibre est sans doute la technique la plus largement employée aujourd'hui. Elle permet des interconnexions très rapides, par exemple dans les armoires informatiques, au sein des réseaux métropolitains, entre bureaux et bâtiments, et même entre continents, via le câble sous-marin. On retrouve également les technologies optiques dans les lecteurs de CD-ROM, les imprimantes laser, les photocopieurs et les numériseurs. Ces appareils contiennent cependant toujours des composants et circuits électroniques

traditionnels, car le coût élevé des composants optiques a jusqu'à ce jour été frein. Ces derniers sont, d'ailleurs, toujours absents des ordinateurs.

A mesure que les technologies optiques deviennent plus matures, les prix chutent et les systèmes informatiques commencent à les intégrer. En effet, dans les réseaux de communication et les ordinateurs, ces composants présentent de nombreux avantages par rapport au fil de cuivre et, plus généralement, à l'électronique traditionnelle. Ainsi, ils consomment moins d'énergie et sont plus rapides, compacts et légers. Moins chers à fabriquer, ils affichent également une capacité de stockage plus élevée et ne sont pas soumis aux interférences électromagnétiques ni aux courts-circuits. Enfin, ils présentent un coût de fonctionnement moindre pour les fournisseurs de service et permettent de réduire l'empreinte carbone des télécommunications.

2. L'optique, un moyen de répondre à la demande en large bande

L'intégration progressive de l'optique dans l'électronique traditionnelle ouvre la voie à une nouvelle ère. La technologie optique serait, à en croire les experts, le moyen le plus efficace de relever les limites de bande passante inhérentes à l'électronique. Car les photons affichent de faibles pertes de transmission et offrent une bande passante importante, permettant, via le multiplexage, de mettre simultanément en relation plusieurs canaux sans interférence. S'agissant du débit, le transfert de données se mesure en mégabits par seconde (Mbit/s) dans un réseau électronique traditionnel, mais en térabits par seconde (Tbit/s) dans un réseau photonique. Par ailleurs, un commutateur électronique a besoin d'environ un microwatt pour fonctionner, alors que cela s'apprécie en nano watts pour les composants de commutation photoniques [18].

Les besoins accrus en vitesse de calcul, l'augmentation rapide de la demande mondiale d'accès à l'Internet et aux services connexes de télévision-vidéo et l'émergence de la large bande nouvelle génération expliquent l'attrait de l'informatique optique. C'est ainsi que les fournisseurs de services de télécommunication ont adopté un nouveau modèle économique tri-service (voix, données et vidéo), une offre qui nécessite une largeur de bande importante pour acheminer de grandes quantités de données. A mesure que les réseaux de télécommunication s'étendent sur la planète, la communication optique va continuer d'affirmer son rôle stratégique dans le développement des services Internet de nouvelle génération.

En raison de ses avantages par rapport à la transmission électrique, la fibre optique remplace rapidement le fil de cuivre dans les principaux réseaux des pays développés et se révèle indispensable pour aider les pays en développement à résorber la fracture numérique. Les porteuses optiques affichent, rappelons-le, une fréquence élevée, ce qui leur permet de transmettre via un même réseau beaucoup plus d'informations que les systèmes radio ou hyperfréquences traditionnels.

Cependant, les réseaux de communication à fibre optique doivent toujours convertir le signal électrique en signal optique pour assurer la transmission, et effectuer l'opération inverse à l'extrémité de réception. Il s'ensuit que la bande passante potentielle des fibres optiques n'est pas pleinement exploitée. Des travaux de recherche et de normalisation sont donc nécessaires afin de développer des systèmes optiques purs dans les réseaux de communication.

3. Le spectre de la lumière

La lumière est une onde. En fonction de la longueur d'onde, elle change soit de couleur soit de type. L'homme ne peut voir qu'une partie de ces ondes. Celles qui sont comprises entre 400 nanomètres et 750 nanomètres. En dessous de 400 nm, il y a les ondes Ultraviolets, Rayons X et Gamma. Au dessus de 750 nm, il y a les rayons infrarouges. C'est, après les 750 nm, au alentour des rayons infrarouges, que se situent les longueurs d'onde utilisés pour la Fibre Optique.

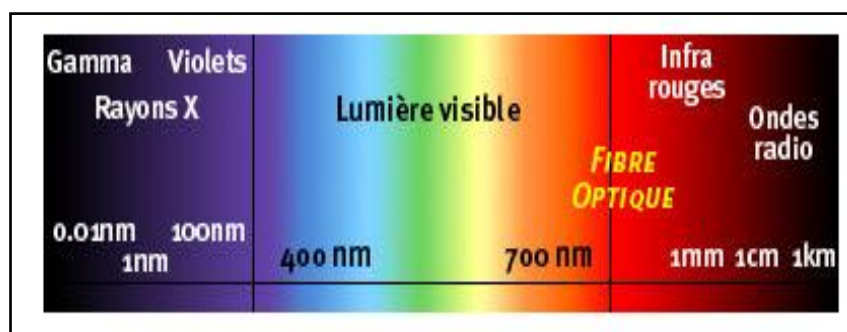


Figure 4: Spectre lumineux

4. Support de transmission

Une fibre optique est un fil de verre ou de plastique, plus fin qu'un cheveu, qui conduit la lumière. Le signal lumineux injecté dans la fibre est capable de transporter de grandes

quantités de données à la vitesse de la lumière sur plusieurs centaines, voire milliers de kilomètres. Cette technologie est déjà utilisée depuis plus de vingt ans notamment pour le transport de données entre les grandes agglomérations. Son extension va permettre de répondre aux besoins croissants en débits et en services des particuliers et des entreprises.

La fibre optique est constituée de quatre composants :

- ✓ Cœur en silice, quartz fondu, ou plastique dans lequel se propagent les ondes optiques.
- ✓ Gaine optique en général, dans les mêmes matériaux que le cœur mais avec des additifs qui emprisonne la lumière dans le cœur en la réfléchissant pratiquement sans perte.
- ✓ Revêtement de protection généralement en plastique qui assure la protection mécanique de la fibre, qui peut réunir plusieurs dizaines à plusieurs centaines de fibres.
- ✓ L'armature en fibres : permet de protéger le cœur contre les forces d'écrasement et les tensions mécaniques excessives lors de l'installation.

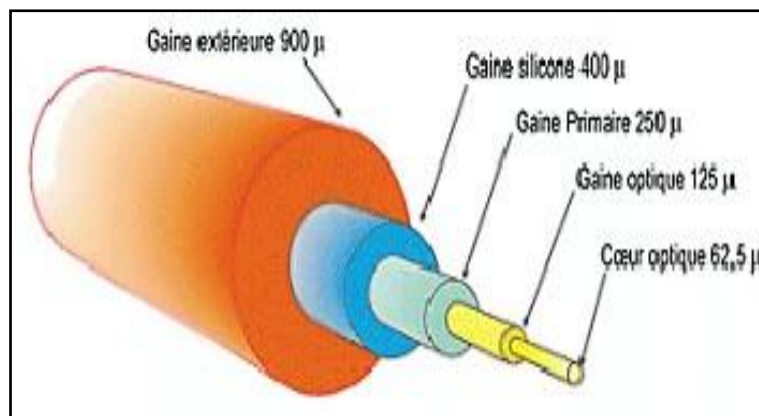


Figure 5: Composants de la fibre optique

Il existe trois types de fibres optiques qui se distinguent par la façon dont le signal lumineux se propage dans le cœur.

- ✓ La fibre multimode à saut d'indice : le diamètre du cœur est d'environ 200 micromètres pour un diamètre total de la fibre (cœur+gaine) de 380 micromètres. Le saut d'indice signifie que la différence entre l'indice de réfraction du cœur et celui de la gaine est assez importante et constitue de ce fait un palier. De cette façon, lorsque le signal rencontre la gaine, il est brusquement réfléchi. Ce type de propagation entraîne une déformation importante du signal.

- ✓ La fibre multimode à gradient d'indice : le diamètre du cœur est de 50 à 100 micromètres pour un diamètre total de la fibre de 125 micromètres.

Le cœur est constitué de plusieurs couches de verre ayant chacune un indice de réfraction légèrement différent de la précédente. Ainsi, le rayon lumineux n'est pas brusquement réfléchi lorsqu'il rencontre la gaine, mais sa trajectoire est déviée progressivement à chaque fois qu'il traverse une nouvelle couche. Ceci permet de diminuer la déformation du signal.

- ✓ La fibre monomode : le cœur mesure moins de 10 micromètres pour un diamètre total de 125 micromètres. 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. La déformation du signal dans ce type de fibre est quasi inexistante.

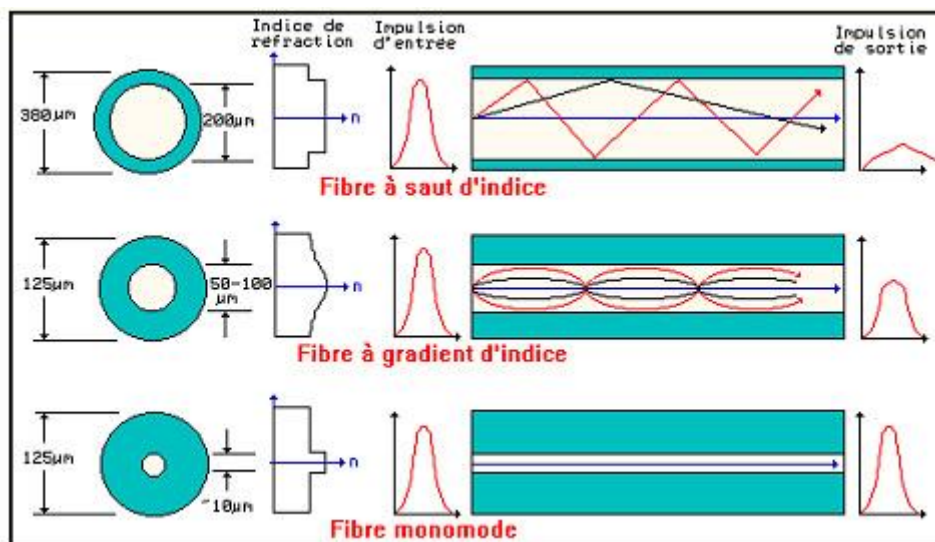


Figure 6: Transmission dans les trois types de fibres optiques [15].

5. Caractéristiques de la fibre optique

5.1 L'atténuation

L'atténuation caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation.

Soient P_0 et P_L les puissances à l'entrée et à la sortie d'une fibre de longueur L . L'atténuation linéaire se traduit alors par une décroissance exponentielle de la puissance en

fonction de la longueur de fibre: $P_L = P_0 e^{-\alpha L}$ où α est le coefficient d'atténuation linéaire. On utilise souvent le coefficient α_{dB} exprimé en dB/km et relié à α par $\alpha_{dB} = 4,343\alpha$.

Le principal atout des fibres optiques est une atténuation extrêmement faible. L'atténuation va varier suivant la longueur d'onde. La diffusion Rayleigh limite ainsi les performances dans le domaine des courtes longueurs d'onde. Un pic d'absorption, dû à la présence de radicaux -OH dans la silice, pourra également être observé autour de 1 385 nm. Les progrès les plus récents dans les techniques de fabrication permettent de réduire ce pic.

Les fibres en silice connaissent un minimum d'atténuation vers 1 550 nm. Cette longueur d'onde du proche infrarouge sera donc privilégiée pour les communications optiques. De nos jours, la maîtrise des procédés de fabrication permet d'atteindre couramment une atténuation aussi faible que 0,2 dB/km à 1 550 nm : après 100 km de propagation, il restera donc encore 1 % de la puissance initialement injectée dans la fibre, ce qui peut être suffisant pour une détection. Si l'on désire transmettre l'information sur des milliers de kilomètres, il faudra avoir recours à une réamplification périodique du signal, le plus généralement par l'intermédiaire d'amplificateurs optiques qui allient simplicité et fiabilité.

Le signal subira des pertes supplémentaires à chaque connexion entre fibres, que ce soit par des traverses ou bien par soudure, cette dernière technique réduisant très fortement ces pertes.

5.2 La dispersion chromatique

La dispersion chromatique est exprimée en ps/ (nm km) et caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1 300-1 310 nm.

5.3 La dispersion modale de polarisation

En principe, la polarisation, dans une fibre parfaitement circulaire, ne devrait pas évoluer le long de la fibre. On n'observe rien de tel dans la pratique. Un petit tronçon de fibre apparaît généralement comme une lame biréfringente, avec un mode dit rapide et un mode dit lent qui

ont des polarisations rectilignes orthogonales. De plus, dans une fibre réelle, cette biréfringence et la direction des axes propres varient constamment et de manière incontrôlée, et la polarisation devient rapidement imprévisible.

La PMD ou dispersion du mode de polarisation, provient de l'asymétrie de l'indice de réfraction de la fibre monomode. Elle se traduit par une différence entre les temps de propagation de deux états de polarisation, et s'exprime en picosecondes par km pour une longueur d'onde donnée. La PMD augmente avec la tension mécanique, la température, les vibrations, les effets produits par certains amplificateurs, le nombre de canaux transmis, avec la distance et le carré des débits transmis. Elle augmente les risques d'évanouissements aléatoires, le taux d'erreur et la distorsion des signaux

5.4 Fenêtre de transmission

La courbe d'affaiblissement en fonction de la fréquence avait permis de définir des fenêtres de transmission autour des 1 310 et 1 550 nanomètres dans lesquelles un seul canal numérique peut être acheminé. L'industrie et l'exploitation étaient sensibilisées par les points représentés par la tenue au câblage, la régularité géométrique de la fabrication de la fibre et des connecteurs. Cette technologie était encore pénalisée par l'existence, dans la fibre, d'un pic d'affaiblissement créé par les ions OH dans la bande E qui astreignait à séparer les deux fenêtres de transmission lors de l'amplification. Progressivement, furent résolus la sujétion du pic OH pour toutes les fibres, ainsi que les effets non linéaires qui apparaissent entre canaux de transmission voisins lorsque la portée est étendue et que le nombre de canaux sur la même fibre est augmenté. Les bandes de transmission sont classées aujourd'hui par l'UIT-T selon la terminologie suivante :

- Bande O : de 1 260 à 1 360 nm.
- Bande E : de 1 360 à 1 460 nm.
- Bande S : de 1 460 à 1 530 nm.
- Bande C : de 1 530 à 1 565 nm.
- Bande L : de 1 565 à 1 625 nm.

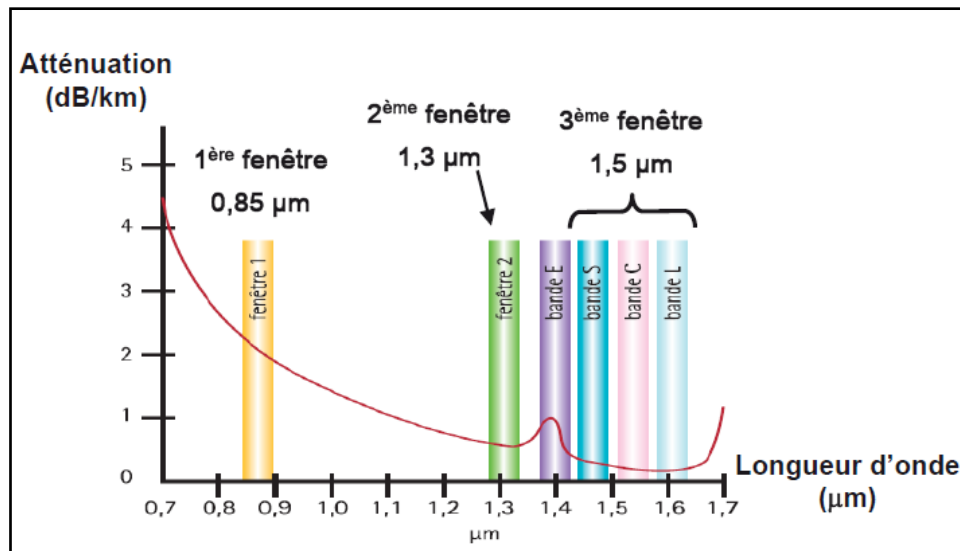


Figure 7:Fenêtres de transmission dans la fibre optique

5.5 Avantage de la fibre sur le cuivre

La fibre optique présente de nombreux avantages par rapport aux liaisons cuivrées, à commencer par les débits. En effet, alors que le cuivre atteint aujourd'hui des débits de l'ordre des gigabits par secondes, la fibre optique permet un débit de dix à quarante gigabits par secondes, voire cent gigabits dans le futur. Des débits de l'ordre du téraoctets par secondes sont envisageables lorsqu'on utilise le multiplexage WDM. De plus, la fibre optique présente un taux d'erreurs bien plus faible que le cuivre, ce qui permet de diminuer légèrement la consommation de bande passante due à la réémission de paquets erronés [18].

Si on considère les différences de poids entre les deux types de câbles, 500 grammes de fibre optique transportent la même quantité de données que 30 tonnes de cuivre, ce qui est loin d'être négligeable lorsqu'il s'agit de prendre en compte les problèmes et les coûts d'installation.

En ce qui concerne le coût des câbles, il y a deux facteurs à prendre en considération : la distance et le débit. En effet, le prix au mètre d'un câble cuivré est bien plus faible que celui de la fibre optique, mais si l'on considère le prix d'un bit transitant sur le réseau, alors ce prix est plus faible sur fibre optique que sur câble cuivré. De plus le coût d'une liaison n'est pas limité au prix du médium utilisé, mais il doit prendre en compte le coût d'installation et les frais d'entretien et de réparation. Sur ce point, la fibre optique est encore la plus intéressante car elle est plus facile à installer du fait de son poids et de son volume moindres, et elle est

plus facile à entretenir car elle ne souffre pas d'oxydation comme le cuivre. De plus, lors de l'apparition de technologies permettant des débits plus élevés, les câbles cuivrés doivent être changés pour pouvoir bénéficier de ces améliorations, alors que la fibre optique est capable de supporter de très grandes augmentations de débits. En effet, ce sont les émetteurs et récepteurs des signaux qui transitent sur la fibre qui limitent le débit, et non pas la fibre elle-même. De ce fait, pour augmenter les débits, il suffit de changer les émetteurs et les récepteurs par des modèles plus performants, et ce sans avoir à enterrer de nouvelle fibre. Certains experts estiment que les fibres utilisées aujourd'hui devraient suffire pour les vingt années à venir, ce qui représente de substantielles économies puisque sur la même période, les installations cuivrées doivent être changées plusieurs fois pour pouvoir suivre l'augmentation des débits fournis.

Un autre facteur qui permet de réaliser des économies tient à la fiabilité plus élevée de la fibre optique par rapport aux câbles cuivrés. En effet, la fibre optique est insensible aux interférences électriques et elle présente une grande résistance aux interférences radio et électromagnétiques. De ce fait, la fibre évite les dépenses dues au blindage que le cuivre nécessite, mais ce n'est pas le seul avantage. En effet, au fur et à mesure que le signal voyage sur la liaison, il se dégrade. Le coût des répéteurs placés sur la liaison afin de régénérer le signal vient augmenter d'autant plus le coût de l'installation. Or, comme le signal transmis sur fibre optique subit moins de dégradation que sur le cuivre, la distance entre les répéteurs peut être augmentée de façon considérable. De la sorte, on diminue le nombre de répéteurs nécessaires sur une liaison donnée et on réalise d'autant plus d'économies lors de l'installation et de la maintenance de celle-ci.

L'inconvénient de la fibre est qu'il s'agit d'une technologie encore jeune et sa mise en œuvre nécessite un important investissement, mais sur le long terme elle possède un réel intérêt, et ce en partie grâce au multiplexage WDM qui lui permet notamment de supporter des débits de plus en plus importants sans nécessiter de changement [18].

6. La technologie WDM

6.1 Principe de fonctionnement

La technologie WDM repose sur le principe du multiplexage optique. Le principe consiste à transporter plusieurs signaux sur un brin de fibre optique. Chaque signal est coloré, c'est-à-dire placé sur une longueur donnée grâce à un transpondeur. Puis via un multiplexeur

optique, toutes les longueurs d'onde sont envoyées sur le même brin de fibre optique. A l'autre extrémité, un démultiplexeur va séparer les longueurs d'onde les unes des autres, puis un transpondeur va reconvertir le signal en canal gris.

En effet, tout comme les signaux électriques qui se propagent avec une fréquence propre, les signaux lumineux possèdent une longueur d'onde. Partant de ce constat, il paraît naturel que le multiplexage FDM utilisé sur les réseaux électriques ait son homologue pour les réseaux optiques.

Ainsi, plutôt que de transmettre de l'information sur une seule longueur d'onde, on va utiliser plusieurs longueurs d'onde, et multiplier d'autant le débit de la liaison. De cette façon, on peut aisément augmenter le débit de transmission d'une fibre sans avoir à la remplacer par une autre. Il suffit simplement de disposer d'émetteurs/récepteurs capables de distinguer les différentes longueurs d'onde utilisées [4], [14], [19].

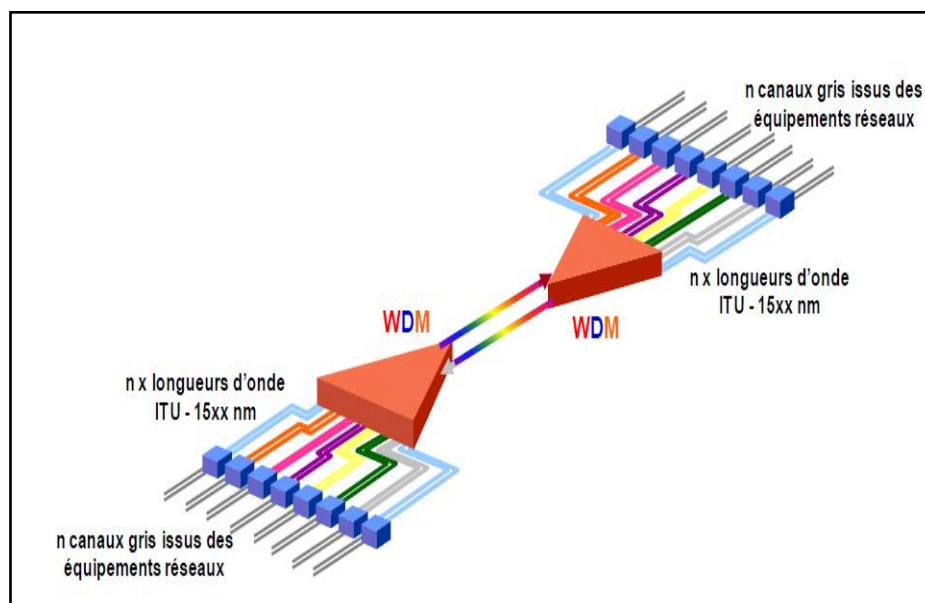


Figure 8: Schéma fonctionnel du WDM [6].

N'importe quel signal peut être transporté via la technologie WDM. Le seul pré-requis concerne ce signal qui doit être numérique. Le protocole peut être indifféremment :

- ATM.
- SDH: E1, STM-1, STM-4, STM-16, STM-64.

- Ethernet: 10 Mbps, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet.
- Fiber Channel: FC100, FC200, FC400, FC800.
- Signal vidéo.
- Protocole propriétaire.

Chaque longueur d'onde est indépendante. Ainsi sur une même fibre optique, plusieurs protocoles peuvent être transportés.

L'utilisation d'une fibre peut-être unidirectionnelle ou bidirectionnelle.

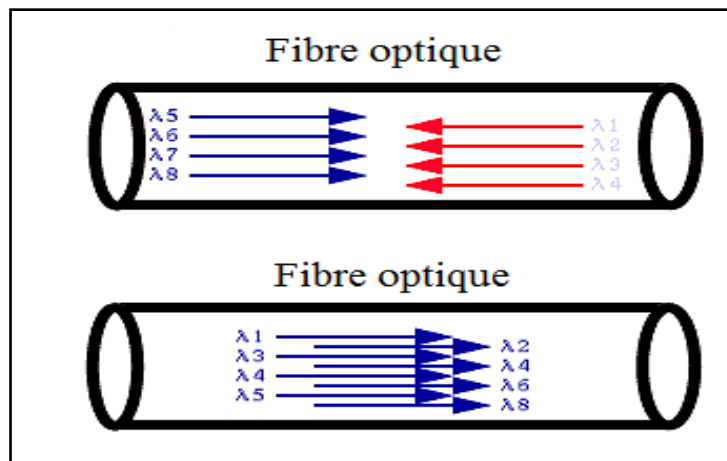


Figure 9: WDM unidirectionnel ou bidirectionnel

Dans la technologie WDM, il existe deux types de longueurs d'onde: CWDM et DWDM :

- ✓ CWDM :
 - Espacement entre 2 longueurs d'onde : 20 nm.
 - Nombre de longueurs d'onde maximum : 18
 - Portée : 70 km.
 - Pas d'amplification possible.

La répartition des longueurs d'onde sur la fibre optique CWDM réduit la complexité des équipements de transmission et leurs coûts. De plus, les équipements CWDM s'avèrent moins encombrants, moins gourmands en électricité et plus faciles à mettre en œuvre. Des atouts

appréciés pour le déploiement des équipements dans des zones métropolitaines soumises à des coûts immobiliers élevés.

✓ DWDM

- Espacement entre 2 longueurs d'onde : 100 GHz ou 50 GHz.
- Nombre de longueurs d'onde maximum : 160.
- Portée : 600 km et plus.
- Amplification via la technologie EDFA ou Raman [13].

La figure ci-dessous montre l'espacement entre les longueurs d'onde en niveau de CWDM et DWDM.

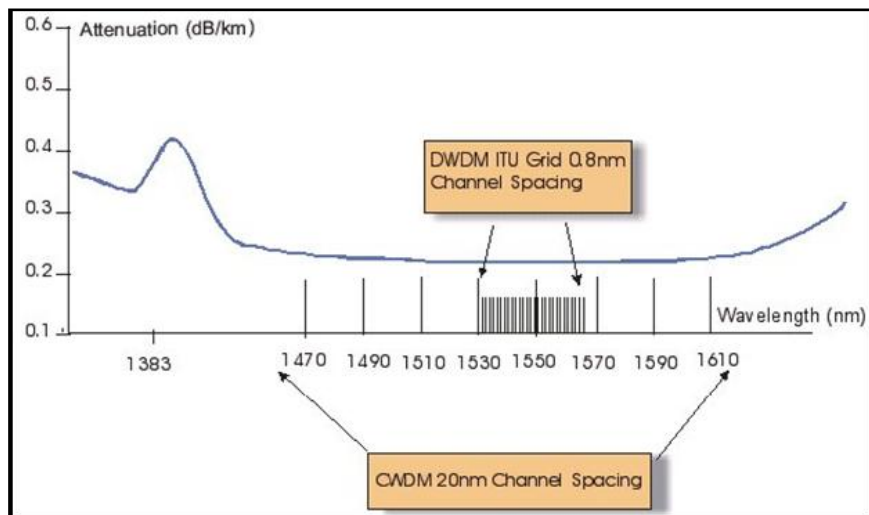


Figure 10: L'espacement inter-longueurs d'onde

La technologie DWDM sur une fibre monomode est la technique la plus utilisée pour les réseaux de transport optiques. La figure suivante montre le peigne de fréquences en DWDM :

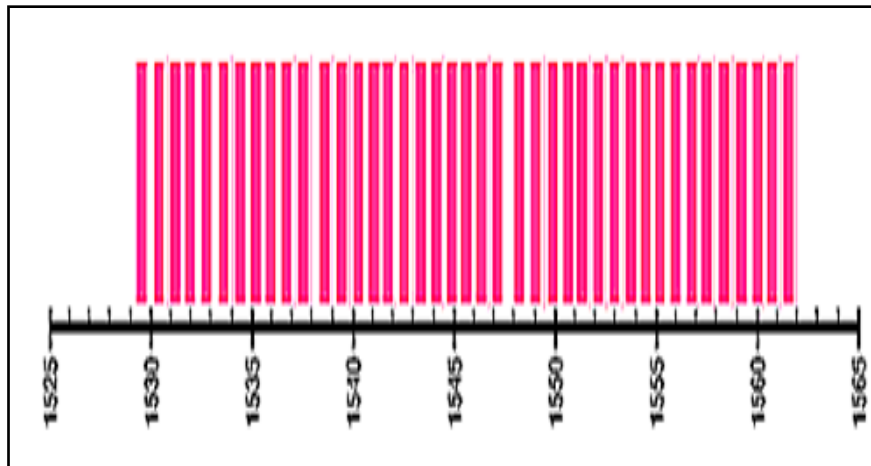


Figure 11: Peigne de fréquence DWDM

Voici un tableau comparatif des deux techniques de multiplexage :

	CWDM	DWDM
Espacement entre deux longueurs d'onde	20nm	Environ 8nm
Nombre de longueur d'onde maximum	18	160
Portée	70 km	600 km et plus
Amplification	Pas d'amplification possible	Via la technologie EDFA ou RAMAN
Coût	Peu coûteux, équipements simples	Plus coûteux, éléments plus complexes et précis
Utilisation	Adapté aux réseaux métropolitains	Réseaux métropolitains ou longue distance car il est possible de ré-amplifier le signal

Tableau 2: Les caractéristiques de C/D WDM [13].

6.2 Composant d'une liaison WDM

Dans une liaison WDM, on peut trouver plusieurs sortes d'équipements à savoir :

- ✓ Les multiplexeurs à insertion-extraction (OADM).
- ✓ Les brasseurs optiques.
- ✓ Les amplificateurs optiques.
- ✓ Les modules de compensation de la dispersion.

6.2.1 Multiplexeur à insertion/extraction

C'est l'utilisation combinée de deux technologies, comme le montre le schéma de principe ci-dessous, qui permet de les construire : le circulateur optique et les réseaux de Bragg.

Les filtres à réseaux de Bragg ont pour fonction de réfracter une ou plusieurs longueurs d'onde d'un signal lumineux. Aujourd'hui des réseaux de Bragg ajustables (utilisation de technologie opto-magnétique encore) sont à disposition, ce qui permet de construire des ROADM (Reconfigurable OADM).

Ainsi, deux circulateurs et deux réseaux de Bragg assemblés comme le montre le schéma suivant permettent de réaliser un OADM.

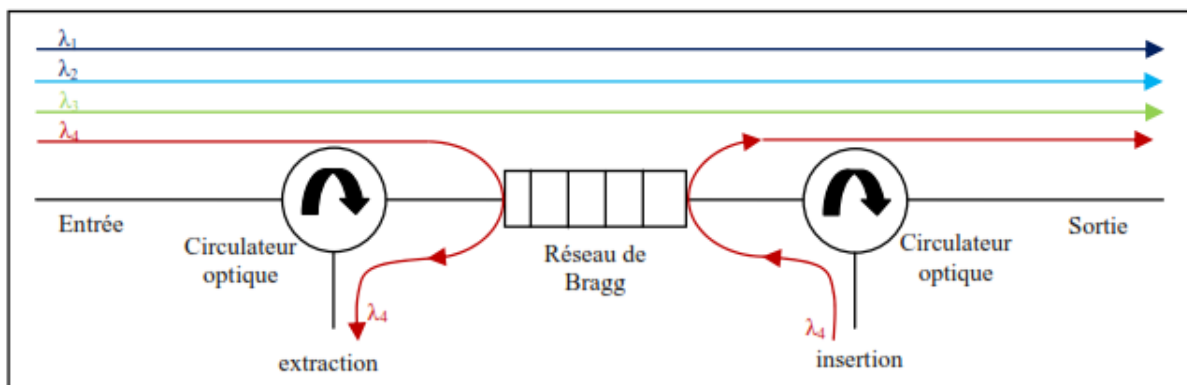


Figure 12: OADM [15].

Un multiplexeur à insertion/extraction (Optical Add/Drop Multiplexer, OADM) permet d'extraire certains canaux WDM en transit sur une fibre optique et d'en insérer d'autres. Il est généralement constitué d'un démultiplexeur optique passif, de commutateurs dédiés aux différentes longueurs d'onde et d'un multiplexeur optique passif. Les états des commutateurs intermédiaires contrôlés électroniquement déterminent quels canaux WDM poursuivent leur chemin, lesquels sont extraits en vue de leur réception locale et lesquels peuvent être insérés après émission locale.

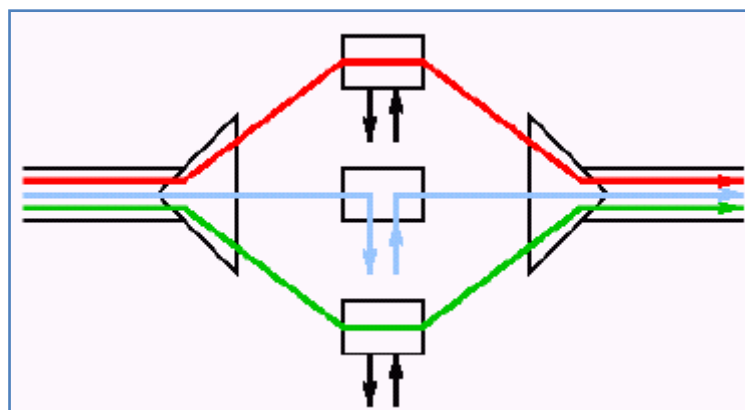


Figure 13: Multiplexeur à insertion/extraction MIE

Le composant MIE peut être greffé directement sur une fibre optique, ou faire partie d'un nœud de routage plus complexe. En particulier, associé avec un répartiteur, plusieurs MIE peuvent former un répartiteur à MIE.

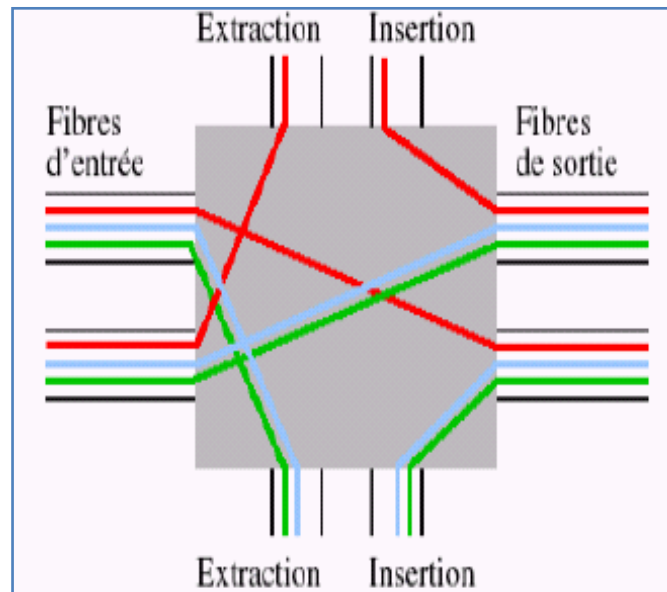


Figure 14: Répartiteur avec MIE

6.2.2 Les brasseurs optiques "Optical Cross Connect"

Les brasseurs optiques sont typiquement utilisés à la jonction de grands réseaux de types métropolitains, régionaux ou longue distance, et servent à rediriger le trafic d'une fibre vers une autre. La matrice de redirection peut être figée par construction ou reconfigurable par l'utilisation de techniques variées comme les MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems - micro miroirs, bulle), ou des commutateurs optiques à commande électriques (commutateur électro-holographique, à cristaux liquides).

Parmi les technologies reposant sur l'utilisation de la micromécanique, une seule est aujourd'hui réellement opérationnelle : celle des micros miroirs 2D. Elle permet de réaliser des brasseurs reconfigurables mais les temps de mutation sont de l'ordre de quelques millisecondes. Ils peuvent permettre de gérer l'équilibrage du réseau mais réagissent trop lentement pour être utilisés dans un processus de routage. En revanche, les brasseurs dont la configuration repose sur des technologies sans mouvement (macroscopique) ont des temps de réaction de l'ordre de la micro voire même de la nanoseconde.

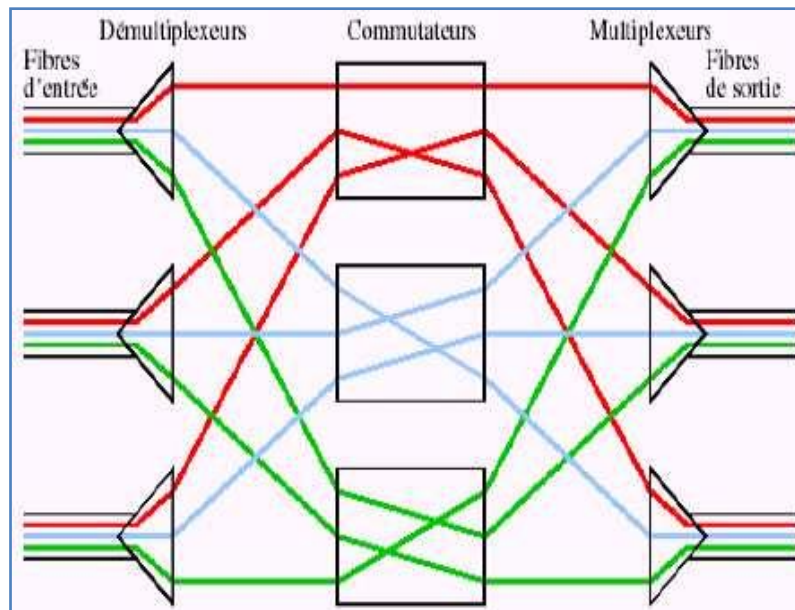


Figure 15: Brasseur reconfigurable

Une série de démultiplexeurs situés aux extrémités des fibres d'entrée permet dans un premier temps de démultiplexer les signaux entrants et de diriger spatialement chaque groupe de canaux WDM à la même longueur d'onde vers un commutateur photonique particulier. Ces commutateurs sont contrôlés électroniquement et appliquent sur les groupes de canaux des fonctions de commutation indépendantes les unes des autres. Les canaux WDM sont enfin remultiplexés sur chaque fibre de sortie.

6.2.3 Les amplificateurs optiques

Les amplificateurs servent à reconstituer la puissance du signal, après que celui-ci a été affaibli par la transmission dans la fibre ou la traversée de plusieurs dispositifs. Pour cette raison ils sont employés régulièrement à chaque section de fibre le long des liens, en fonction des critères de transmission choisis et après la traversée des nœuds.

Lorsqu'un signal optique parcourt une longue distance dans une fibre optique, il connaît une certaine atténuation. Si la distance parcourue est importante, le signal peut devenir bruité ou trop faible pour être détecté. Des amplificateurs sont disposés à intervalles réguliers, actuellement tous les 50-100 km. Deux grandes familles d'amplificateurs existent : les amplificateurs à semi-conducteur et les amplificateurs à fibre dopée. Notons qu'un signal optique ne peut être amplifié autant de fois que l'on veut. En effet, l'amplification introduit un léger bruit dans le signal, et ce bruit est amplifié par chacun des amplificateurs rencontrés. Ainsi, le signal optique doit être régénéré après la traversée de plusieurs amplificateurs, c'est à-dire si la distance parcourue est grande, afin d'en éliminer le bruit. Actuellement les signaux

optiques sont régénérés tous les 500 km. Récemment, l'utilisation de l'amplification Raman, qui utilise la fibre de ligne comme milieu amplificateur, a conduit à des portées de plus de 3000 km.

Un amplificateur est caractérisé par sa courbe de gain. Celle-ci n'est pas plate et donc il y a des longueurs d'onde qui sont plus amplifiées que d'autre. En général ces défauts sont assez similaires d'un amplificateur à l'autre. Ainsi plus on traverse d'amplificateurs, plus la différence de puissances entre les canaux sera accentuée. Cette inégalité entre les puissances des différents canaux a plusieurs conséquences.

6.2.4 Les modules de compensation de la dispersion

Dans le système de télécommunication de fibre optique, les effets de la dispersion chromatique deviennent important et doivent être corrigés pour des débits de 10Gb/s et plus. Le module de compensation de dispersion peut être un filtre ou une fibre de compensation de dispersion. Le filtre de compensation de dispersion peut être déployé pour compenser un seul canal ou plusieurs canaux. Le module de compensation de la dispersion est caractérisé par sa perte d'insertion ainsi que par la valeur de compensation (une valeur négative) ou par la pente de la courbe de dispersion.

Les fibres à compensation de dispersion sont des fibres à dispersion négative qui sont insérées dans la liaison optique pour compenser la dispersion accumulée. Un module de compensation de dispersion est donc composé d'une fibre de longueur prédéterminée et de dispersion égale et de signe opposé à celle de la fibre de transmission. Plusieurs modèles sont commercialisés, par exemple pour les fibres optiques monomodes standard : les DCM 40 qui compensent 40 km de fibre optique monomode standard, les DCM 60 qui compensent 60 km de fibre standard, les DCM 70, les DCM 90... Pour chaque type de fibre optique, on trouve des modules DCM associés. Si on veut totalement compenser la dispersion chromatique engendrée par une fibre optique monomode (SMF) de longueur L_{SMF} et de coefficient de dispersion D_{SMF} , alors la longueur de la fibre DGF est donnée par la relation :

$$L_{DGF} = -L_{SMF} * D_{SMF} / D_{DGF}$$

Où D_{DGF} , est le coefficient de dispersion de la fibre DGF.

L'inconvénient principal des modules de compensation de dispersion est le coût des modules et des amplificateurs optiques nécessaires pour compenser les pertes des DCM car il faut déployer ces modules tout au long du lien optique et ajuster les paramètres des modules pour

compenser la dispersion totale accumulée dans une liaison donnée. C'est pour cette raison que les solutions électroniques moins coûteuses ont été développées.

Conclusion

Dans ce chapitre, on a abordé la technique de multiplexage WDM en illustrant ces principaux avantages, puis on a énuméré les différentes composantes optoélectroniques constituant un réseau de communication optique, afin de décrire leurs effets sur le bon fonctionnement de ce réseau.

La qualité du signal qu'elle transporte et les débits qu'elle autorise ont fait de la fibre optique la reine des media de l'Internet. Que ce soit de la voix, de l'image, du texte, des fichiers binaires, que ce soit nativement dans n importe quel format de trame, la fibre optique, grâce à WDM acheminera vos données. Elle supporte des trafics évoluant de manière exponentielle. Au plus ce trafic augmente, en volume et en débit, au plus il devient crucial d'éviter les conversions optique-électronique-optiques du signal. Or, cette conversion était jusqu'à maintenant ou presque inévitable pour router le signal et même pour le régénérer.

La NG-WDM est désormais une technologie émergente qui offre plusieurs possibilités de rerouter le trafic en cas de pannes dans les routes principales d'un réseau optique grâce à l'introduction de la technologie ASON et le protocole GMPLS.

Chapitre 3 : Liaison Greguerate--- **Agadir**

Introduction

Tout en prenant en considération la stratégie de développement du réseau optique à court et long terme de IAM, Alcatel-Lucent propose une solution considérable basée sur un module de transmission de haut et moyen débit afin de satisfaire suffisamment la capacité initiale tout en permettant une évolution homogène à la capacité maximale et de garantir une solution valide, à coût réduit pour IAM. Alors en prenant en considération les besoins actuels d’IAM ainsi que le développement futur des services et réseaux, en l’occurrence la NG-WDM est la solution envisagée par les opérateurs pour optimiser la fibre optique d’une part et desservir les entreprises et les particuliers en haut débit.

L’installation d’une fibre optique est en principe coûteuse pour les opérateurs, ce qui la rend rare et devient alors primordial d’optimiser les fibres optiques disponibles. La NG-WDM, transparente au protocole, permet de transporter les flux clients nativement sans utiliser des méthodes d’encapsulation SDH souvent très coûteuses. Enfin, la NG-WDM permet de différencier les clients en associant une longueur d’onde par client.

L’opérateur client exige un trafic varié en terme débit et utilisation, c’est en quelque sorte le multiservice tout en assurant une très bonne qualité de service.

La solution NG-WDM proposé a pour but de satisfaire la demande du client tout en cohabitant sur la même fibre optique plusieurs signaux de longueurs d’ondes différentes via l’équipement NG-WDM 1830 d’Alcatel-Lucent.

Après l’établissement du contrat, un document détaillant le cahier des charges est fourni à Alcatel-Lucent par Maroc Télécom. Deux autres documents HLD et LLD comportant les différents détails du projet.

Le projet s’est déroulé en six étapes essentielles dont le planning est le suivant :

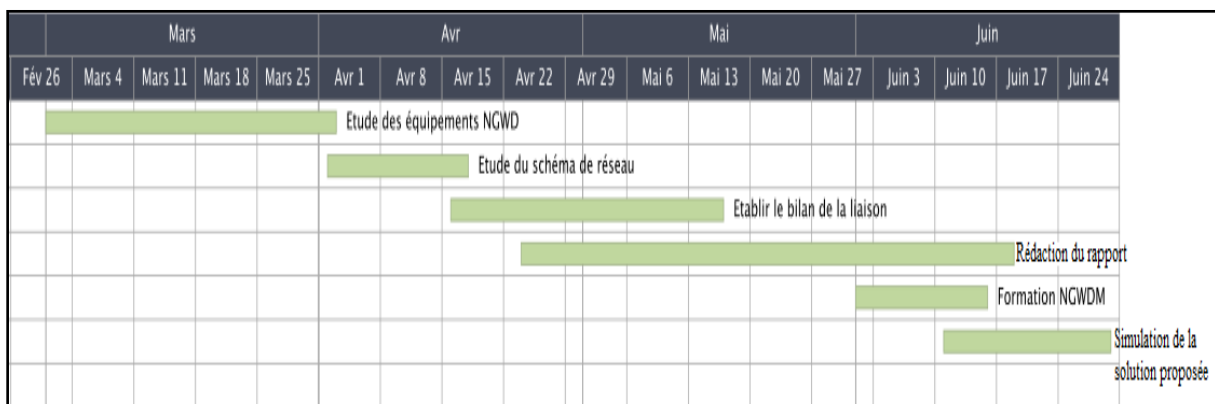


Figure 16: Diagramme de Gantt [17].

Nous allons voir dans ce chapitre le détail du travail demandé par Maroc Télécom y compris le bilan de la liaison optique, la technique de multiplexage OTN et la protection via le protocole GMPLS et ASON et à la fin les résultats de la simulation à partir de la maquette réalisée au niveau du laboratoire au sein de l'entreprise.

1. Cahier de charges

L’objectif du présent projet est d’établir une liaison optique entre Agadir et Greguerate en trois tronçons :

- Liaison Dakhla- Greguerate :

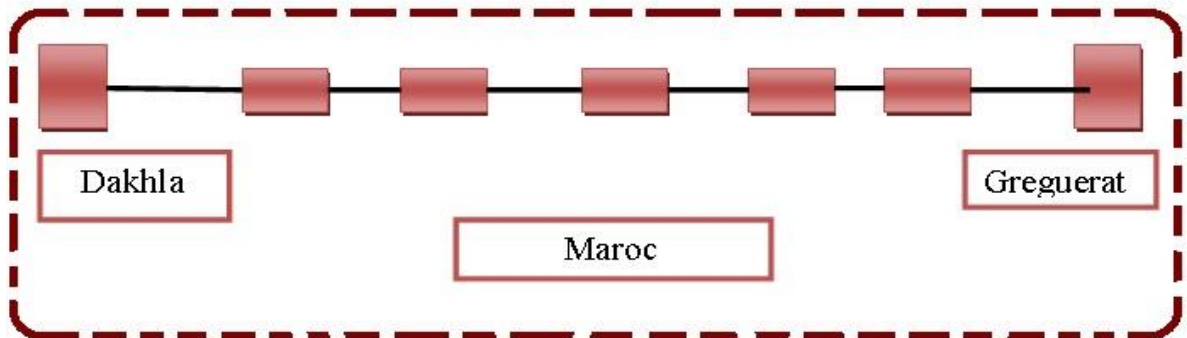


Figure 17: Liaison Dakhla -- Greguerate

Tronçons	Distance (km)
Dakhla- PK40	50
PK40- El Argoub Jdid	40
El Argoub Jdid- Labouirda	61
Labouirda- Sebkha	85
Sebkha- Mhiriz	84
Mhiriz- Greguerate	88

Tableau 3: Tronçon Dakhla- Greguerate

- Liaison Dakhla- Laâyoune :

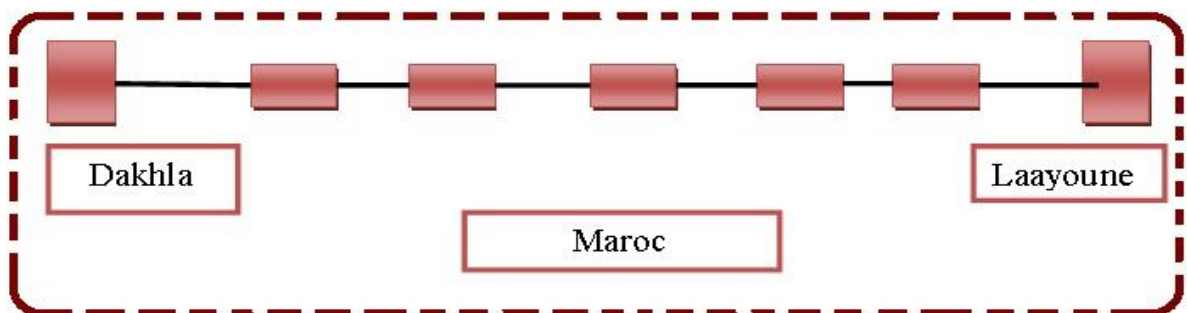


Figure 18: Liaison Dakhla- Laâyoune

Tronçons	Distance (km)
DAKHLA- PK40	50
PK40- MARINA OUAD EDAHABE	70
MARINA OUAD EDAHABE- BIR INZARANE	65
BIR INZARANE- AFETASE	62
AFETASE- CAP7	62
CAP7- Boujdour LGD	62
Boujdour LGD- Relais FH Alcabino	54
Relais FH Alcabino- Relais Labradiche	58
Relais Labradiche- Laâyoune Port	72
Laâyoune Port- Laâyoune LGD	30

Tableau 4: Tronçon Dakhla- Laâyoune

- Liaison Agadir- Laâyoune :

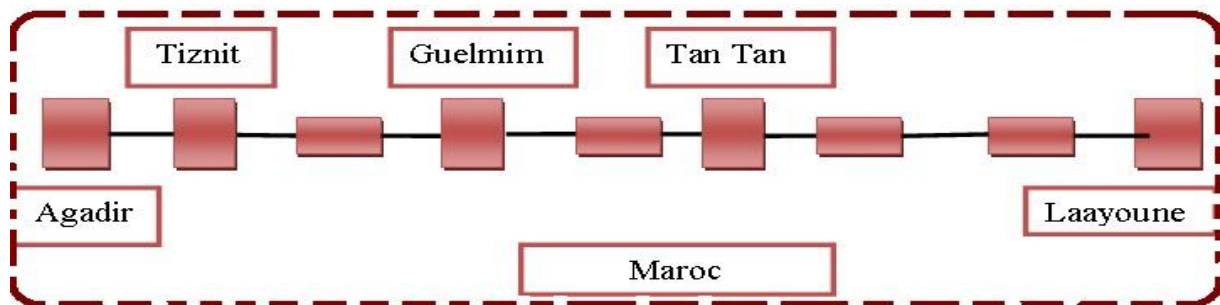


Figure 19: Liaison Agadir- Laâyoune

Tronçon	Distance (Km)
Agadir-Nouacer Belfaa	62
Nouacer Belfaa-Tiznit	45
Tiznit-Bouizakarne	70
Bouizakarne-Guelmim	42
Guelmim-Tan Tan	133
Tan Tan-Chbika	59
Chbika- Akhfenir	60

Akhfenir-Tarfaya	104
Tarfaya-Laâyoune	106

Tableau 5:Tronçon Agadir- Laâyoune

Avec :

- ✓ **Distance** : indique la longueur de la section du câble à fibre optique G.652 séparant deux sites.
- ✓ **Sites intermédiaires disponibles** : indique le nombre de sites d'IAM situés entre deux nœuds NGWDM d'une jonction pouvant abriter éventuellement des amplificateurs optiques de ligne (OLA).
- ✓ **Atténuation + 3 dB** : une atténuation de marge de 3 dB est estimée entre deux extrémités (Equipement Terminal, ROADM ou OADM) pour tenir compte du vieillissement et des futures réparations qui pourraient être opérées sur le câble FO.

1.1 Règles d'ingénierie

- Les liaisons et boucle NG-WDM doivent avoir la possibilité d'être configurées avec une capacité de 40λ extensible sans coupure de trafic à 80λ .
- Il devra être possible, sur chaque boucle, d'étendre la quantité initiale équipée jusqu'à 40λ , par simple ajout de cartes transpondeurs et modules indispensables. Les autres organes et la configuration de la boucle (emplacement des OLA et autres) doivent rester inchangés
- Les liaisons et boucles NG-WDM acquises dans le cadre de cet appel d'offres doivent être extensible jusqu'à 80λ moyennant le rajout de châssis, transpondeurs et autres modules indispensables et ce en tenant compte des équipements installés initialement.
- En cas d'ajout d'une ou plusieurs longueurs d'onde sur les boucles NG-WDM existantes, l'ajustement de puissance des liens et spectre NG-WDM doit être fait par le système de gestion NMS sans coupure de trafic.
- Chaque boucle doit être configurée initialement de telle sorte qu'un ajout éventuel de transpondeurs à 40Gb/s ne perturbe pas son bon fonctionnement. En effet, l'ajout d'un transpondeur à 40Gb/s doit être réalisable, par simple ajout de cartes transpondeurs et modules indispensables, avec la garantie que les autres organes et la configuration de la boucle (emplacement des OLA et autres) restent inchangés.
- Les atténuateurs optiques proposés doivent être variables à distance et ce, pour permettre l'ajustement des niveaux de puissance à partir du système de gestion central.

- Les OLAs proposés doivent permettre l'évolution vers un équipement de type ROADM sans coupure de trafic. Le Fournisseur doit détailler les étapes nécessaires à ce changement ainsi que le temps nécessaire pour cette opération.

1.2 Les équipements ROADM

Les équipements ROADM doivent supporter les fonctionnalités suivantes :

- Insertion/extraction dynamique de 40 lambdas extensibles à 80 lambdas. Le passage vers la capacité maximale (80 λ) doit se faire sans coupure de trafic, ni changement de configuration des boucles existantes (emplacement des OLA..., etc.).
- Intégration de la technologie de commutation WSS (Wavelength Selective Switch).
- Conformité au standard OTN (Optical Transport Network) permettant l'implémentation d'une matrice de brassage hybride électrique et optique. Le Fournisseur doit préciser les types de services supportés (STM-4, STM-1, GE, FE, FC ect) ainsi que la capacité maximum de brassage électrique et optique des ROADMs.
- Implémentation de la technologie ASON (Automatically Switched Optical Network).
- Disponibilité de 08 directions de services, pour re-router le trafic d'une direction vers une autre direction dans un réseau maillé.
- L'ajout d'une nouvelle direction au niveau de l'équipement.

1.3 Les amplificateurs OLA

Les amplificateurs optiques de ligne fournis doivent intégrer la technologie ASON et permettre l'évolution vers un équipement de type ROADM sans coupure de trafic. Le fournisseur doit détailler les étapes nécessaires à ce changement ainsi que le temps nécessaire pour cette opération.

1.4 Cartes transpondeurs

- Les transpondeurs fournis doivent supporter des débits 40Gb/s, 10Gb/s, 4*2.5Gb/s (en un seul lambda), 40Gb/s, 4*10Gb/s, et des interfaces à n*2,5Gb/s ou/et m*10Gb/s multiplexés en un seul canal 40Gb/s.
- Les équipements fournis doivent supporter des Muxpondeurs capables de multiplexer des services TDM et Data sur une même interface.

1.5 Les atténuateurs optiques

Les atténuateurs optiques fournis doivent être variables à distance et ce, pour permettre l’ajustement des niveaux de puissance à partir du système de gestion central.

1.6 Matrices de trafic

Les matrices de trafic sont les suivantes

- Liaison Greguerate- Dakhla :

	Dakhla	Greguerate
Dakhla (Maroc)		8 x STM-16
Greguerate (Maroc)		

Tableau 6: Matrice de trafic Greguerate- Dakhla

- Liaison Dakhla- Laâyoune

	Dakhla	Laâyoune
Dakhla (Maroc)		8 x STM-16
Laâyoune (Maroc)		

Tableau 7: Matrice de trafic Dakhla- Laâyoune

- Liaison Laâyoune- Agadir

	Laâyoune	TanTan	Guelmim	Tiznit	Agadir
Laâyoune (Maroc)					08 x STM-16 8 x STM-16 (avec 16xGE)
Tan Tan (Maroc)					4 x STM-16 (avec 6*GE)
Guelmim (Maroc)					4 x STM-16 (avec 6*GE)
Tiznit (Maroc)					4 x STM-16 (avec

					6*GE)
Agadir (Maroc)					

Tableau 8: Matrice de trafic Laâyoune- Agadir

Finalement, il reste à signaler que le trafic sera transporté dans une fibre optique de type G.652. Le tableau ci-dessous résume ses caractéristiques :

Affaiblissement à 1310 nm		≤ 0,35 dB/km
Affaiblissement à 1550 nm		≤ 0,21 dB/km
Affaiblissement à 1625 nm		≤ 0,24 dB/km
Affaiblissement entre 1285 et 1330 nm		Variation ≤ 0,03 dB/km par rapport à l'affaiblissement à 1310 nm
Affaiblissement entre 1525 et 1575 nm		Variation ≤ 0,03 dB/km par rapport à l'affaiblissement à 1550 nm
Régularité de la pente d'affaiblissement à 1310 et 1550 nm		Discontinuité locale ≤ 0,05 dB
Affaiblissement entre 1285 et 1330 nm Variation < 0,03 dB/km par rapport à		
Pertes par courbure	Diamètre de courbure, Mm	Nombre de tours
	32	1
	60	100
PMD		
Dispersion du mode de polarisation (PMD) – fibre nue		Moyenne < 0,06 ps/km ^{1/2} Maxi individuel < 0,1 ps/km ^{1/2}
Dispersion du mode de polarisation (PMD) – fibre en câble		≤ 0,2 ps/km ^{1/2}
Longueur d'onde de coupure		
Longueur d'onde de coupure (en câble)		≤ 1260 nm
Dispersion		
Dispersion chromatique entre 1285 et 1330 nm		≤ 3,5 ps/nm.km
Dispersion chromatique à 1550 nm		≤ 18 ps/nm.km
Longueur d'onde à dispersion nulle		1300 à 1324 nm
Pente à dispersion nulle		≤ 0,092 ps/nm ² .km
Diamètre de mode		
Diamètre du champ de mode à 1310 nm		9,1 +/- 0,5 µm
Diamètre du champ de mode à 1550 nm		10,4 +/- 1 µm
Caractéristiques géométriques		
Diamètre de la gaine optique		125,0 +/- 1 µm

Diamètre de mode	
Diamètre du champ de mode à 1310 nm	9,1 +/- 0,5 μm
Diamètre du champ de mode à 1550 nm	10,4 +/- 1 μm
Caractéristiques géométriques	
Diamètre de la gaine optique	125,0 +/- 1 μm
Non circularité de la gaine optique	$\leq 1 \%$
Erreur de concentricité cœur/gaine	$\leq 0,6 \mu\text{m}$
Ondulation de la fibre (« curl »)	$\geq 4,0 \text{ m}$
Diamètre du revêtement	245 +/- 5 μm
Erreur de concentricité du revêtement	$\leq 10,0 \mu\text{m}$
Influence de l'environnement	
Variation d'affaiblissement entre -60 et +85 °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement entre -10 et +85 °C sous 98 % d'humidité relative	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement dans l'eau à +23 +/- 2 °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement après vieillissement à +85 +/- 2 °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Valeurs typiques	
Indice de réfraction à 1310 nm	1,4690
Indice de réfraction à 1550 nm	1,4695
Différence d'indice relative entre cœur et gaine optique	0,34 %
Longueur d'onde à dispersion nulle	1312 nm
Pente à dispersion nulle	0,085 ps/nm ² .km

Affaiblissement			
Affaiblissement à 1310 nm			$\leq 0,35 \text{ dB/km}^*$
Affaiblissement entre 1285 et 1330 nm			$\leq 0,38 \text{ dB/km}^*$
Affaiblissement à 1550 nm			$\leq 0,21 \text{ dB/km}^*$
Affaiblissement entre 1530 et 1570 nm			$\leq 0,24 \text{ dB/km}^*$
Affaiblissement à 1625 nm			$\leq 0,24 \text{ dB/km}^*$
Affaiblissement à 1383 nm			$\leq 0,34 \text{ dB/km}$
Régularité de la pente d'affaiblissement à 1310 et 1550 nm			Discontinuité locale $\leq 0,1 \text{ dB}$
Sensibilité à la courbure			
Pertes par courbure	Diamètre de courbure, mm	Nombre de tours	Affaiblissement
	32	1	$\leq 0,5 \text{ dB}$ à 1550 nm
	60	100	$\leq 0,05 \text{ dB}$ à 1550 nm
PMD		G652 C	G652 D
Dispersion du mode de polarisation (PMD) – fibre nue		$\leq 0,20 \text{ ps/km}^{1/2}$	$\leq 0,1 \text{ ps/km}^{1/2}$
Dispersion du mode de polarisation (PMD) – fibre en câble		$\leq 0,5 \text{ ps/km}^{1/2}$	$\leq 0,2 \text{ ps/km}^{1/2}$
Dispersion			
Dispersion chromatique à 1310 nm		$\leq 3,5 \text{ ps/nm.km}$	
Dispersion chromatique à 1550 nm		$\leq 18,0 \text{ ps/nm.km}$	
Longueur d'onde à dispersion nulle		1312 +/- 12 nm	
Pente à dispersion nulle à 1550 nm		$\leq 0,092 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$	
Longueur d'onde de coupure			
Longueur d'onde de coupure (en câble)		$\leq 1260 \text{ nm}$	
Diamètre de mode			
Diamètre du champ de mode à 1310 nm		9,1 +/- 0,5 μm	
Diamètre du champ de mode à 1550 nm		10,4 +/- 1 μm	
Caractéristiques géométriques			
Diamètre de la gaine optique		125,0 +/- 1 μm	
Non circularité de la gaine optique		$\leq 1 \%$	
Erreur de concentricité cœur/gaine		$\leq 0,6 \mu\text{m}$	
Ondulation de la fibre (« curl »)		$\geq 4 \text{ m}$	
Diamètre du revêtement		245 +/- 5 μm	
Erreur de concentricité du revêtement		$\leq 12 \mu\text{m}$	

Caractéristiques mécaniques	
Proof test (allongement 1 %)	$\geq 0,7 \text{ GN/m}^2$
Dénudabilité du revêtement	1,2 à 3,0 N
Influence de l'environnement	
Variation d'affaiblissement entre -60 et $+85$ °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement entre -10 et $+85$ °C sous 98 % d'humidité relative	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement dans l'eau à $+23 \pm 2$ °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Variation d'affaiblissement après vieillissement à $+85 \pm 2$ °C	$\leq 0,05 \text{ dB/km}$ à 1310 et 1550 nm
Valeurs typiques	
Indice de réfraction à 1310 nm	1,4677
Indice de réfraction à 1550 nm	1,4682
Paramètre de fatigue dynamique (n_d)	20

Tableau 9: Fibre G.652

2. Les ROADM

Les flux de trafic sont difficiles à prévoir dans les réseaux. Une augmentation soudaine du volume des communications et des données échangées sur une portion du réseau peut la transformer en un goulot d'étranglement pouvant affecter plusieurs services et plusieurs connexions déjà en cours. Il est difficile de traiter ce genre d'évènements à l'aide de dispositifs statiques comme les OADMs. Il ne faut pas perdre de vue que ces derniers ont des filtres fixes, ce qui exige qu'un opérateur modifie le dispositif à chaque fois que des changements importants de volume de trafic apparaissent. Pour résoudre ce genre de situation, les OADMs configurables ou ROADMs ont été développés. Ceux-ci rendent les liaisons plus flexibles en permettant une gestion dynamique, rapide et efficace du trafic.

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

2.1 Différentes architectures des ROADMs

On distingue trois principales architectures ROADM : celles utilisant des bloqueurs de longueurs d'onde Wavelength Blockers (WB), celles utilisant des Wavelength Selective Switches (WSS) et celles utilisant des Wavelength Cross Connect (WXC). Nous allons présenter ces composants pour ensuite détailler les architectures ROADM basées sur chacun de ces éléments.

Un WSS est un composant de commutation de signaux lumineux au niveau des longueurs d'onde. Il est caractérisé par le nombre de longueurs d'onde qu'il peut recevoir (par exemple 40 ou 80) et le nombre de fibres ou directions sélectionnables.

La principale technologie utilisée pour réaliser la commutation dans les WSS est la technologie MEMS, mais on trouve des WSS à base de cristaux liquides également (tout comme pour les WB).

La figure 20 représente un WSS 1 x 5 à base de MEMS. Les longueurs d'onde entrent dans le commutateur par la gauche sur une fibre attachée à une barrette de fibres optiques. Ce composant sert d'interface entre la fibre et l'espace libre, avec la lumière entrant par l'intermédiaire des fibres et sortant comme faisceaux projetés dans l'espace (l'intérieur d'un WSS est hermétiquement scellé et peut être un vide ou rempli d'air ou de gaz inerte). Un élément dispersif, comme le réseau de diffraction transmissif, illustré sur la figure, démultiplie chaque faisceau en ses longueurs d'onde constitutives. Les longueurs d'onde sont projetées chacune sur un micro-miroir MEMS dédié. L'inclinaison de chaque miroir peut être contrôlée indépendamment des autres. Par le biais de l'inclinaison des micro-miroirs, les faisceaux sont réfléchis et dirigés vers les fibres de sortie.

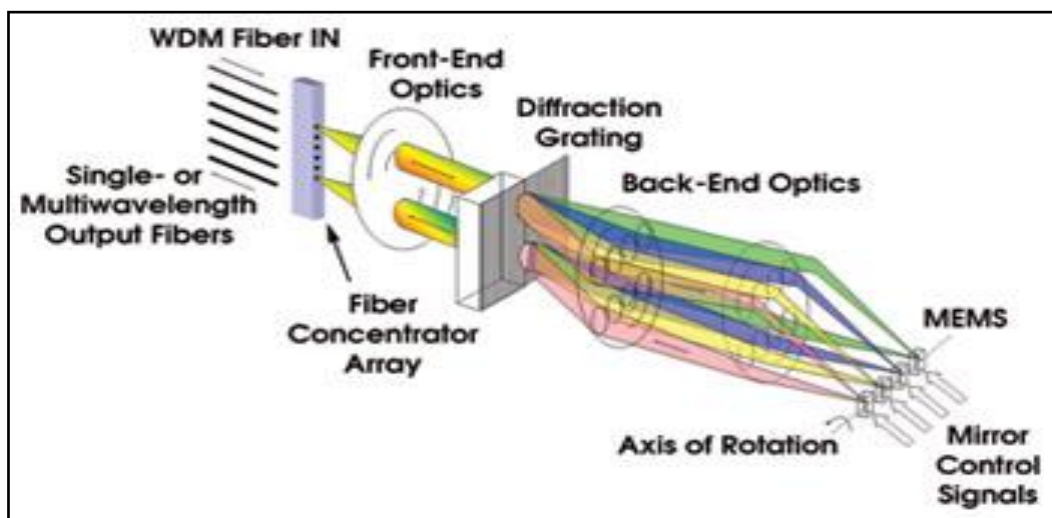


Figure 20: "Wavelength Selective Switch" à base de MEMS.

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

2.2 ROADM basé sur un WSS

Les ROADMs utilisant des modules WSS sont souvent implémentés en configuration 1 x 2 dans les réseaux en anneau de type SONET. À l'intersection de deux anneaux, les longueurs

d'onde qui arrivent au ROADM, venant de l'anneau-1, vont : soit continuer leur chemin sur l'anneau-1, soit être extraites dans ce nœud, ou envoyées vers l'anneau-2 (figure 21).

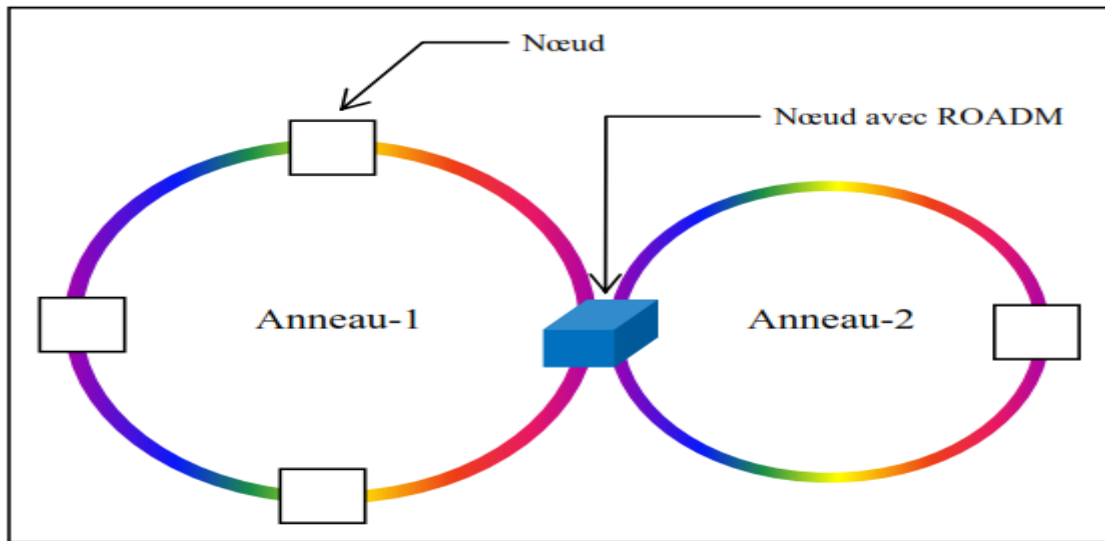


Figure 21: Deux réseaux en anneau reliés par un ROADM.

Les ROADMs WSS sont de deux types :

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

2.2.1 WSS avec insertion et extraction fixe (colored)

Ce type de ROADM permet d'insérer et d'extraire des longueurs d'onde prédéterminées dans le nœud (figure 22).

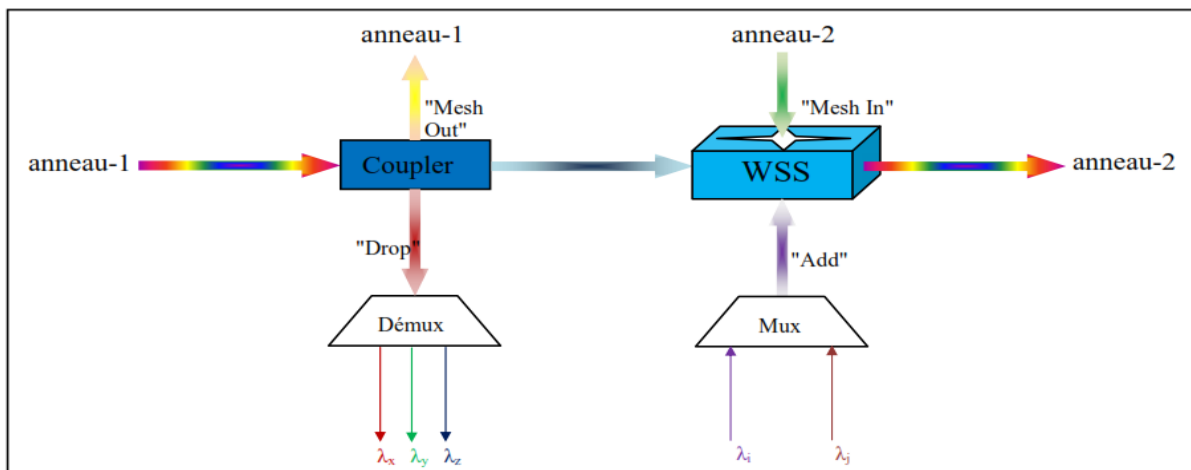


Figure 22: Schéma d'un WSS-ROADM coloré.

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

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

2.2.2 WSS avec insertion et extraction variable (colorless)

Afin de pouvoir insérer et extraire n'importe quelle longueur d'onde en fonction des besoins du moment, il faut remplacer le multiplexeur et le démultiplexeur par deux WSS (figure 23).

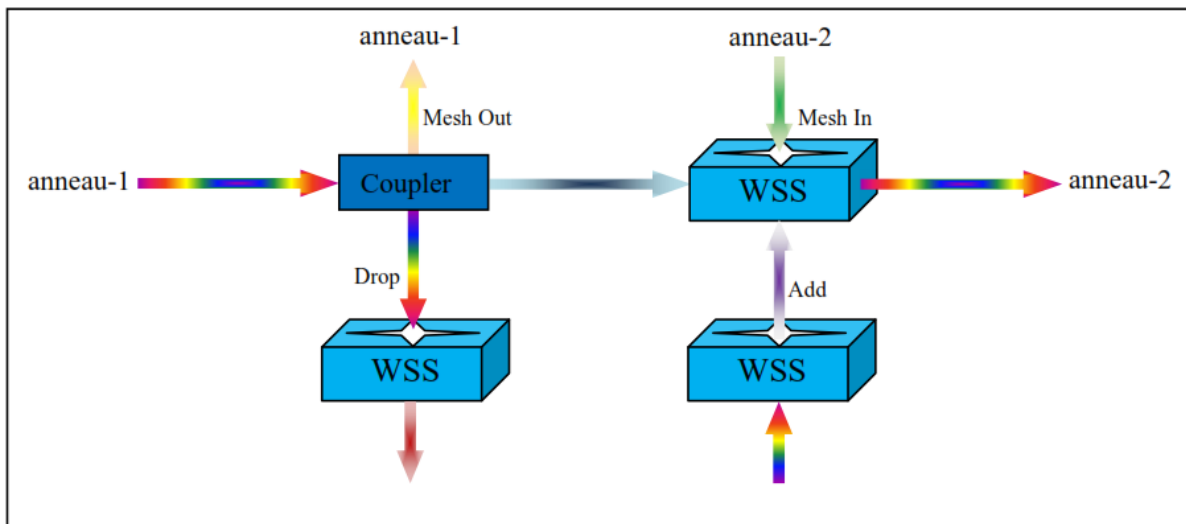


Figure 23:Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM".

Le problème majeur de ce type de ROADM est le coût. Le prix d'un WSS est plus élevé que celui d'un multiplexeur/démultiplexeur, et le montant pour un WSS utilisant des ports colorés est encore plus dispendieux. En plus, trois WSS sont nécessaires pour chaque degré. À titre d'exemple, un nœud de degré quatre requiert l'utilisation de douze WSS (figure 24).

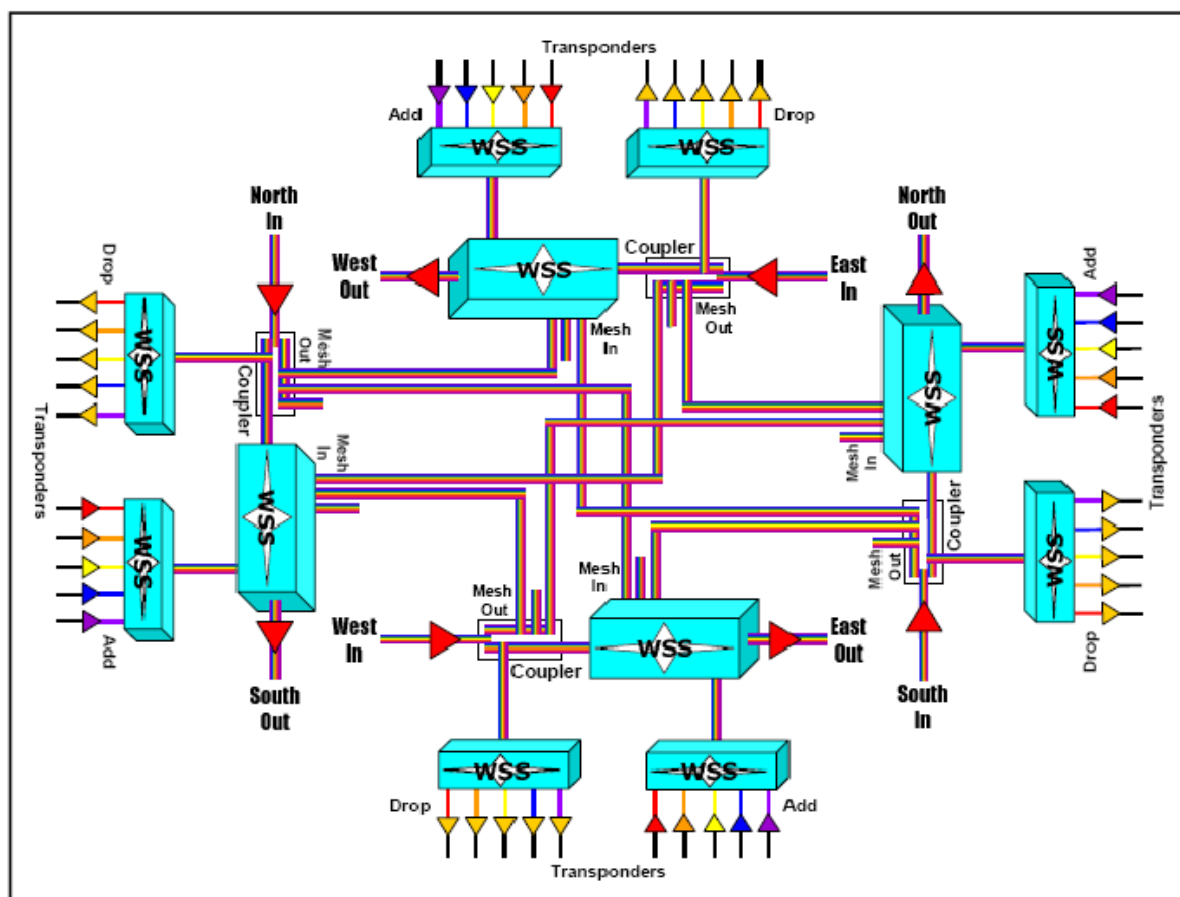


Figure 24: Schéma d'un "colorless-WSS-ROADM" de degré 4.

2.3 Impact des ROADM

L'utilisation de ROADM a un très grand impact sur l'ingénierie des réseaux en amenant les ingénieurs à repenser la connectivité, la flexibilité et la planification des réseaux.

Les ROADM incluent une commutation par longueur d'onde unique en plus de la fonctionnalité d'atténuation optique variable. Ils peuvent donc offrir un équilibrage automatique de la puissance optique par canal.

Le fait de pouvoir insérer et extraire une longueur d'onde à la fois (en plus de pouvoir le faire par bande de longueurs d'onde) et ceci à n'importe quel nœud du réseau équipé d'un ROADM, permet de concevoir des réseaux plus flexibles.

Les ROADMs intègrent, au niveau de la longueur d'onde, des fonctionnalités comme la commutation optique, la surveillance de puissance, et l'atténuation optique variable, dans une même entité de gestion. Ceci améliore le diagnostic du réseau et la gestion des pannes et par conséquent diminue les coûts d'exploitation.

Finalement, le contrôle et la gestion à distance des ROADMs éliminent le besoin de déplacement aux nœuds intermédiaires pour les configurer manuellement.

3. La technologie OTN

La technologie de réseau de transport optique (OTN), définie par la norme UIT G.709 et également connue sous le nom de « digital wrapper », est un protocole standard nouvelle génération qui offre une méthode efficace et internationalement reconnue pour le multiplexage des services sur les chemins légers optiques. Elle permet aux opérateurs de faire converger leurs réseaux via le transport transparent des nombreux types de protocoles hérités, tout en garantissant la flexibilité indispensable à la prise en charge des futurs protocoles clients.

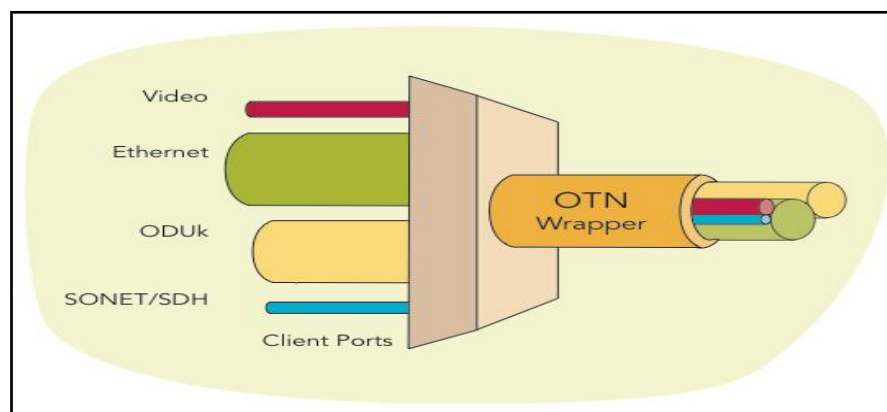


Figure 25: Diagramme de l'OTN

La capacité de multiplexage optimisée d'OTN autorise le transport des différents types de trafic (notamment Ethernet, stockage, vidéo numérique ou SONET/SDH) via une trame unique d'unité de transport optique (OTU) : OTU-1 (2,7 Gb/s), OTU-2 (10,7 Gb/s), OTU-3 (43 Gb/s) ou OTU-4 (112 Gb/s).

Outre les services de multiplexage, OTN s'adapte aux demandes en constante évolution des clients et garantit une gestion plus efficace des réseaux optiques. Le protocole autorisant une surveillance complète des performances de l'ensemble du trafic multiservice mentionné ci-dessus, il est parfaitement adapté au transport 10 Gigabit Ethernet (GbE) et offre aux opérateurs un excellent modèle de gestion des performances et de dépannage des services Ethernet.

OTN étant un protocole entièrement transparent, l'adaptation aux services existants est de plus en plus simple. OTN n'affecte en rien les solutions OSS/BSS, exploite tous les outils et toutes les automatisations disponibles et ne nécessite qu'une formation minimale, voire aucune. Du fait de sa rentabilité, de sa facilité de mise en œuvre et de sa relative absence de complexité, OTN garantit aux entreprises une solution simple capable de répondre à l'évolution de leurs besoins en matière de réseau.

3.1 Avantages de l'OTN

- Isole le réseau contre une combinaison de services douteuse en assurant le transport natif transparent des signaux encapsulant toutes les informations de gestion des clients.
- Effectue un multiplexage pour obtenir une exploitation optimale des capacités, donc une plus grande efficacité du réseau.
- Autorise l'évolutivité des réseaux, ainsi que la prise en charge des services Ethernet dédiés avec définitions de service pour 1GbE, 10GbE, 40GbE et 100GbE, les spécifications commençant à des débits supérieurs.
- Autorise une surveillance des performances sur plusieurs couches et des capacités optimisées de maintenance des signaux traversant les réseaux de plusieurs opérateurs.
- Autorise une connectivité à maillage automatisée et la restauration de réseau maillé en 50 ms pour les clients Ethernet, OTN, SONET et SDH, lorsque cette technologie est combinée à un plan de contrôle intelligent.

L'OTN est la meilleure solution pour les cas suivants:

- une abondance de communications de voix, de données, de LAN et de vidéo.
- un grand mélange de services.
- une solution à l'épreuve de l'avenir.
- une mise à niveau aisée.
- un haut niveau de disponibilité; la redondance est critique.
- importantes exigences uniques.

3.2 Agrégation de service

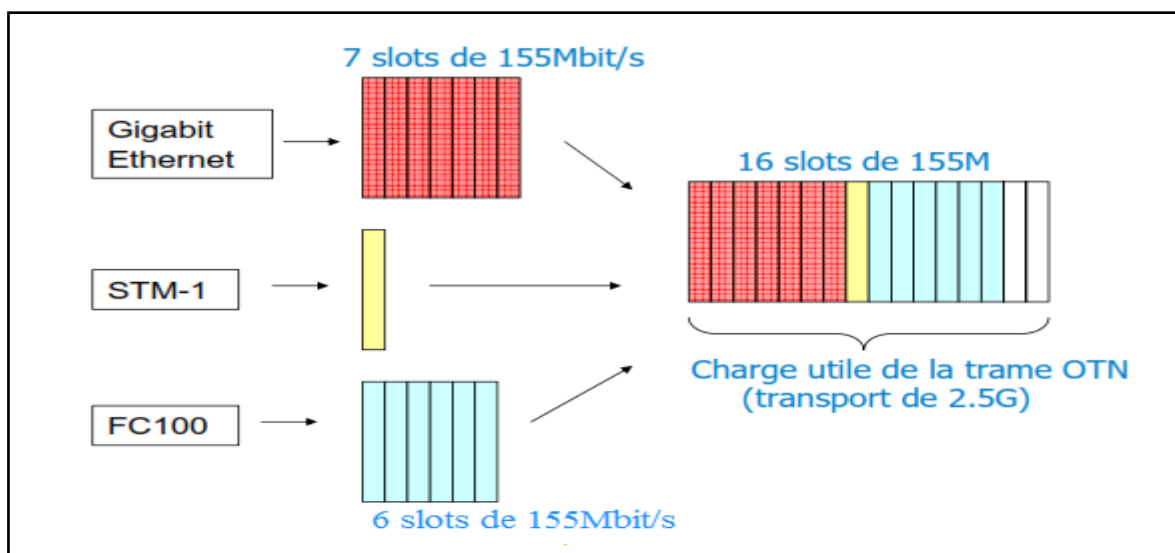


Figure 26: Agrégation de service [9].

- Débits

Interface	Débit	Correspondance STM	Nombre de timeslots de 155M
ODU1	2,7 Gbit/s	STM-16	16
ODU2	10,7 Gbit/s	STM-64, 10 GE, Fibre Channel	64
ODU3	43 Gbit/s	STM-256	256

Tableau 10: Débits [9].

- La trame OTU :

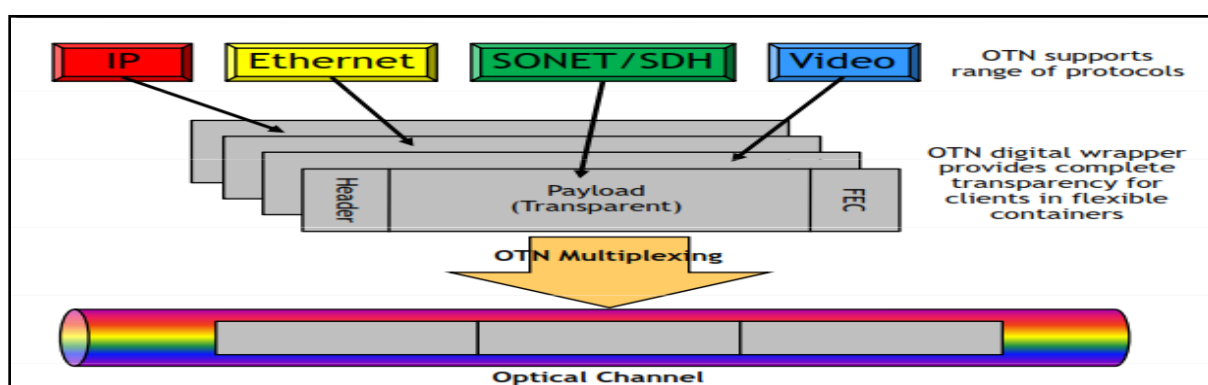


Figure 27: OTN prise en charge divers protocoles [10].

Tous les types de trames doivent pouvoir être transportées de façon transparente dans la trame OTN sans qu'elles aient besoin d'être modifiées. Un champ est prévu pour ajouter un

FEC (Forward Error Correction) afin d'effectuer les corrections nécessaires pour atteindre un taux d'erreur déterminé.

L'interface OTN est constituée de plusieurs niveaux. En partant de la fibre optique on trouve les couches suivantes :

- OTS (Optical Transmission Section), qui prend en charge la transmission du signal optique en vérifiant son intégrité.
- OMS (Optical Multiplex Section), qui prend en charge les fonctionnalités permettant de réaliser un multiplexage en longueur d'onde.
- OCh (Optical Channel), qui est le niveau de bout en bout du signal optique. Ce niveau permet la modification de la connexion et le reroutage, ainsi que les fonctions de maintenance de la connexion.
- DW (Digital Wrapper), qui correspond à l'enveloppe numérique.

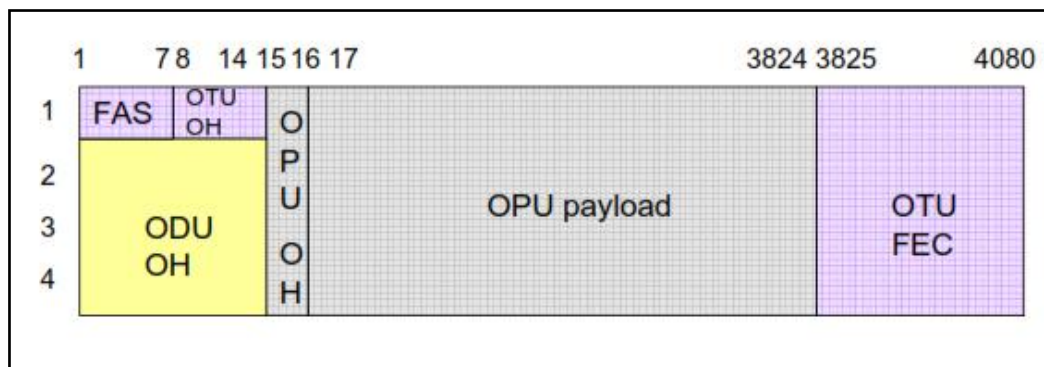


Figure 28: Format de la Trame OTN [9].

- OH : Overhead
- OPU : Optical Channel Payload Unit
- OTU : Optical Transport Unit
- ODU : Optical Channel Data Unit
- FAS : Frame Alignment Signal
- FEC : Forward-Error Correction

3.3 Construction d'un conteneur OTN

Le niveau Digital Wrapper et lui-même décomposé en trois sous niveaux :

- OTUk (Optical Transport Unit), qui donne la possibilité d'adopter une correction utilisant un FEC.

- ODUk (Optical Data Unit), qui gère la connectivité indépendamment des clients et offre une protection et une gestion de cette connectivité.
- OPUk (Optical Payload Unit), qui indique une correspondance entre le signal et le type de client.

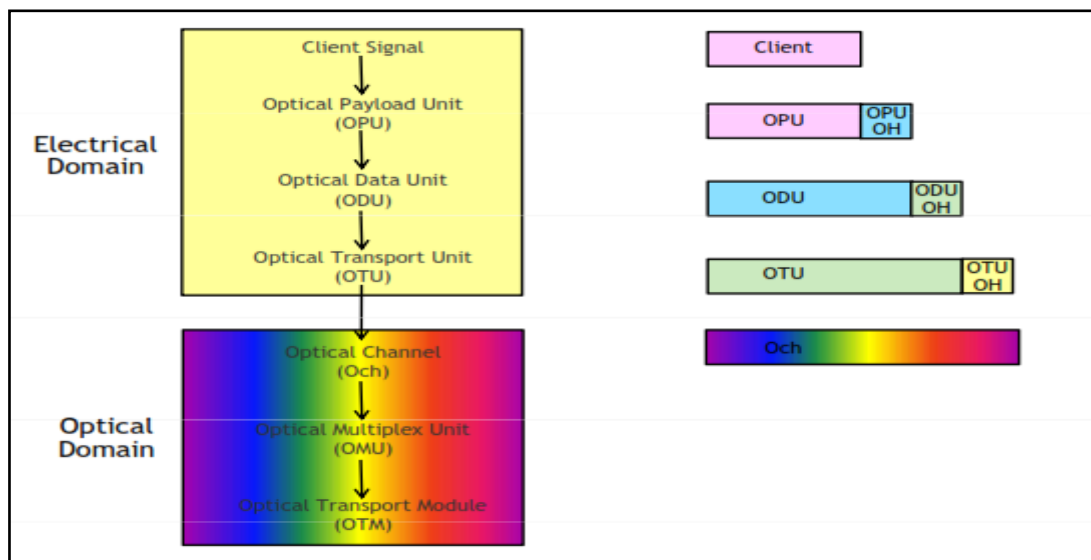


Figure 29: Conteneur OTN [10].

- Structure en couche de l'architecture OTN

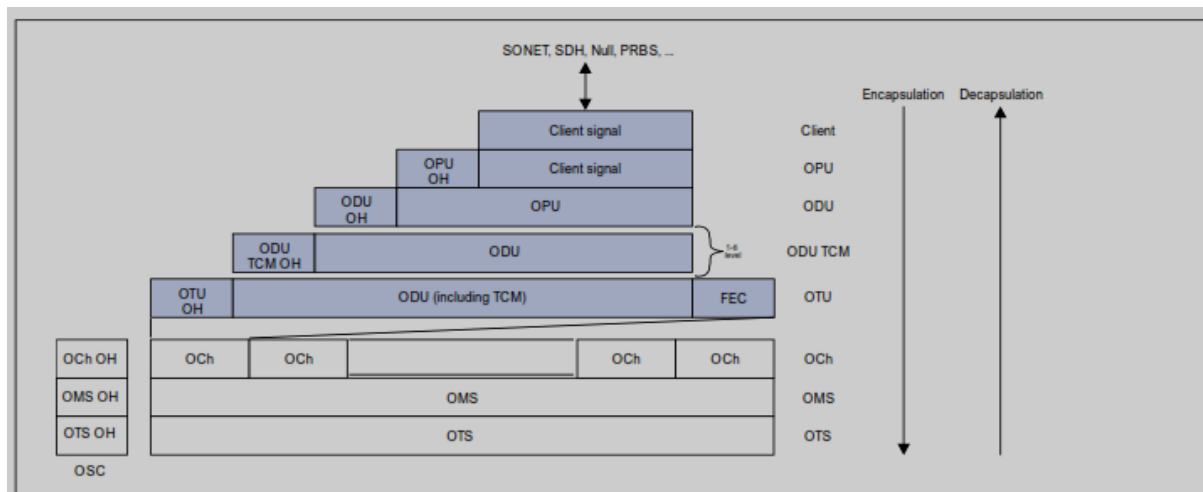


Figure 30: Structure en couche de L'architecture OTN

3.4 Hiérarchie de l'OTN

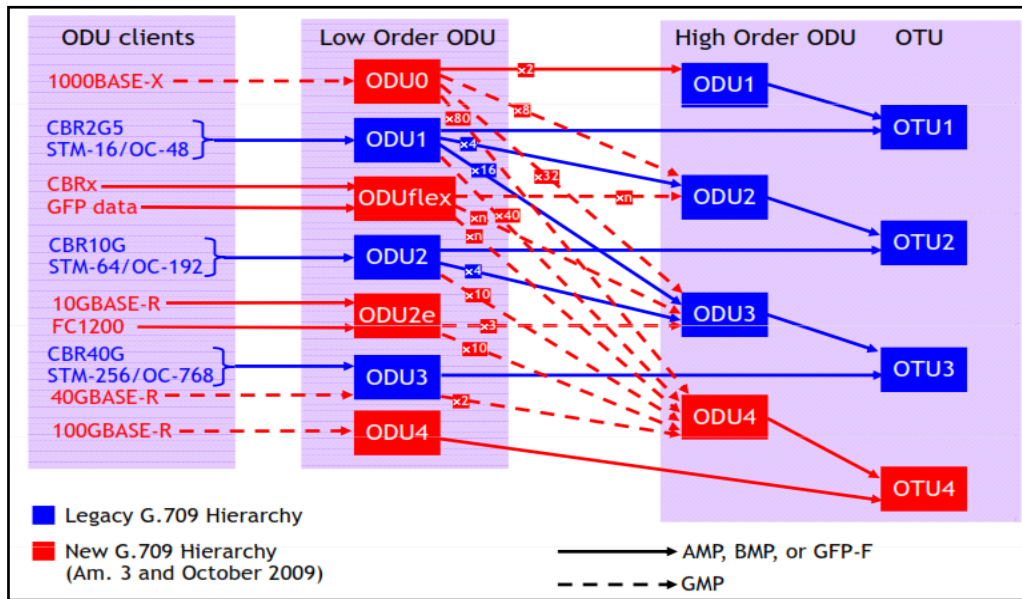


Figure 31: Hiérarchie de l'OTN [10].

4. La technologie ASON

ASON (commutation automatique de réseau optique) est un concept de l'évolution des réseaux de transport qui permet de dynamique axé sur les politiques de contrôle d'une optique ou réseau SDH basé sur la signalisation entre un utilisateur et les composants du réseau. Son but est d'automatiser la ressource et la gestion de connexion dans le réseau [11].

4.1 La nécessité d'ASON

Dans un réseau optique sans ASON, chaque fois qu'un utilisateur nécessite plus de bande passante, il y a une demande pour une nouvelle connexion de l'utilisateur vers le fournisseur de services. Le prestataire de services doit ensuite manuellement planifier et configurer la route dans le réseau. Ce n'est pas beaucoup de temps seul, mais perd également la bande passante si l'utilisateur utilise avec parcimonie la connexion. La bande passante est de plus en plus une ressource précieuse et les attentes des futurs réseaux optiques sont qu'ils doivent être en mesure de gérer efficacement les ressources le plus rapidement possible. ASON remplit certaines des exigences de réseaux optiques, tels que:

- Rapide et automatique de bout en bout de provisionnement.
- Rapide et efficace reroutage.

- Prise en charge des clients différents, mais optimisé pour IP.
- Dynamique mise en place de connexions.
- Soutien des optiques des réseaux privés virtuels.
- Support de différents niveaux de qualité de service.

Ces exigences ne sont pas limités à des réseaux optiques et peut être appliquée à n'importe quel réseau de transport y compris les réseaux SDH.

4.2 Architecture logique d'ASON

L'architecture logique d'un ASON peut être divisée en 3 plans:

- Transport Plane.
- Control Plane.
- Plan de gestion.

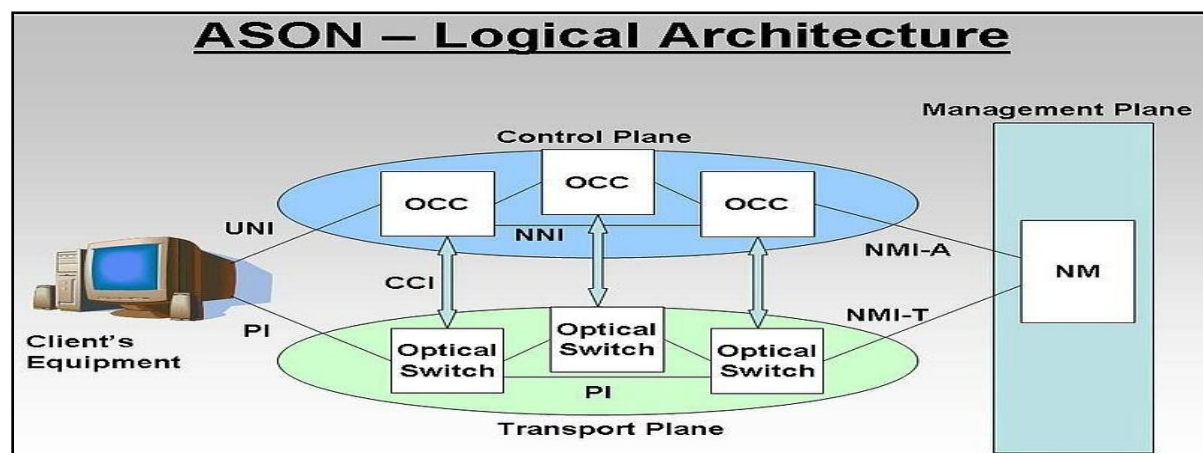


Figure 32: Architecture logique d'ASON [12].

Le plan de transport comprend un certain nombre de commutateurs (optiques ou autres) responsable du transport de données d'utilisateur via des connexions. Ces commutateurs sont connectés les uns aux autres par l'intermédiaire d'PI (interface physique).

Le plan de contrôle est chargé de la ressource réelle et de gestion de connexion dans un réseau ASON. Il se compose d'une série d'OCC (Contrôleurs de raccordement optique), reliés entre eux par NNIS (Réseau d'interfaces réseau). ASON assure les fonctions suivantes :

- La topologie du réseau de découverte (découverte de ressources).
- Signalisation, routage , l'attribution d'adresses.

- Set-up/tear-down Connexion.
- La protection de connexion / restauration.
- Ingénierie du trafic.
- Affectation de longueur d'onde.

Le plan de gestion est chargé de gérer le plan de contrôle. Ses responsabilités comprennent la gestion de la configuration des ressources de plan de contrôle, les zones de routage, des ressources de transport en plan de contrôle et de la politique. Il fournit également la gestion des erreurs, la gestion du rendement, de la comptabilité et les fonctions de gestion de sécurité. Le plan de gestion contient l'organe de gestion de réseau qui est relié à un OCC dans l'avion de configuration via le NMI-A (Interface de gestion de réseau pour Control Plane ASON) et à l'un des commutateurs par l'intermédiaire NMI-T (l'interface de gestion de réseau pour le réseau de transport) [12].

Le trafic de l'utilisateur connecté à un réseau ASON contient des données pour deux transports et plan de contrôle. L'utilisateur est connecté à Transports avion via un IP (Physical Interface), alors qu'il communique avec le plan de contrôle via un UNI (User Network Interface).

5. Le protocole GMPLS

L'ambition des fournisseurs d'accès Internet (plus particulièrement, les transiteurs situés en cœur de réseau), à l'heure actuelle, est d'avoir une structure de contrôle unique sur le réseau, de la couche physique (dans la plupart des cas optique) jusqu'à la couche réseau (dans la plupart des cas IP). Une méthode pour réaliser cette exigence est de mettre en œuvre le protocole que nous allons présenter dans cet exposé, GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching). Le but de GMPLS est donc d'étendre le fonctionnement du protocole MPLS (Multi-Protocol Label Switching) déjà déployé principalement sur les réseaux IP pour obtenir une structure de contrôle unique. Nous allons, dans un premier temps nous attarder sur les éléments fondamentaux de GMPLS (le routage distribué, MPLS, signalisation, couche optique et commande répartie). Dans un second temps, nous décrirons le fonctionnement de GMPLS avec la description des trois modèles. La troisième partie fera apparaître des éléments qui permettent d'envisager la concrétisation de GMPLS.

GMPLS est une des options techniques actuellement suivie dans la définition du plan de commande des réseaux de transport optique (découverte, distribution et synchronisation des informations sur les ressources de transport installées, disponibles réservées; fonction de routage par le calcul des chemins bidirectionnels entre points d'accès au service; établissement, gestion et relâchement des circuits optiques...)

5.1 Définition

Le GMPLS (Generalized Multi Protocol Label Switching) provient du MPLS et plus précisément des extensions portées au MPLS pour les réseaux optiques. GMPLS est destiné à traiter différents types de technologies de transmission et de transport. Son but est donc d'intégrer les couches de transmissions au MPLS et d'obtenir une vision globale. Il fournira un plan de contrôle consolidé en étendant la connaissance de la topologie du réseau à toutes les couches et permet de réaliser le management de la bande passante. Le GMPLS consiste donc à faire converger le monde de l'optique et celui des données.

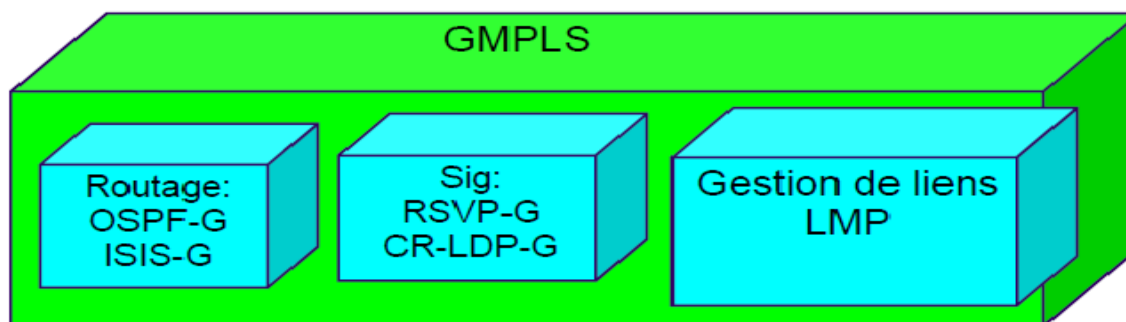


Figure 33: Composants de GMPLS

5.2 Principe de fonctionnement

GMPLS possède des fonctionnalités supplémentaires par rapport à MPLS :

Découverte des voisins, distribution de l'information de liaison, la gestion de topologie, la gestion de chemin, la protection de liaison et la garantie du rétablissement. GMPLS fait circuler les paquets par le réseau à la vitesse de la lumière. GMPLS tient compte du contrôle centralisé, automatic provisioning, load balancing, provisioned bandwidth service, bandwidth service... La figure 34 montre l'évolution de l'encapsulation des données des réseaux IP jusqu'à la couche optique DWDM.

- Dans la figure b la couche ATM a été supprimée, comme dans de nombreux réseaux de cœur actuel, l'IP est directement transporté sur de la SDH/SONET. Pour garantir la remise des paquets au même titre qu'ATM, la fonctionnalité MPLS a été rajoutée à l'IP, le backbone IP/MPLS ne travail plus en mode Best Effort mais grâce à la commutation de labels assure une remise fiable.
- Dans la figure c la couche SONET/SDH a été réduite grâce à l'introduction de GMPLS.
- Finalement grâce à GMPLS le trafic IP est directement véhiculé sur la couche DWDM tout en garantissant une remise fiable et avec un plan de contrôle centralisé.

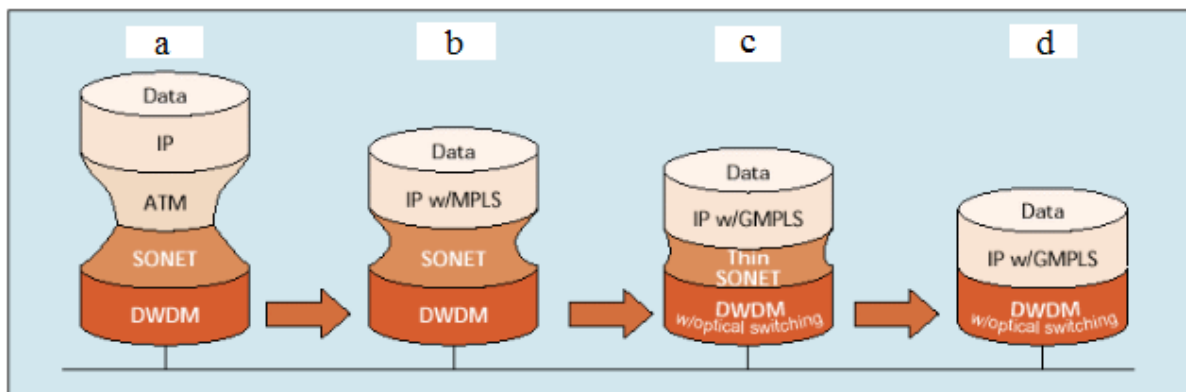


Figure 34: Fonctionnement de GMPLS [8].

Actuellement la gestion des interfaces entre les différentes couches requiert un provisioning manuel et chaque couche était jusqu'alors gérée séparément par les différents services des opérateurs. Grâce à GMPLS les opérateurs vont pouvoir réduire le nombre d'interfaces entre couches d'où une baisse notable des coûts opérationnels du réseau mais aussi une croissance de l'efficacité de transport des paquets.

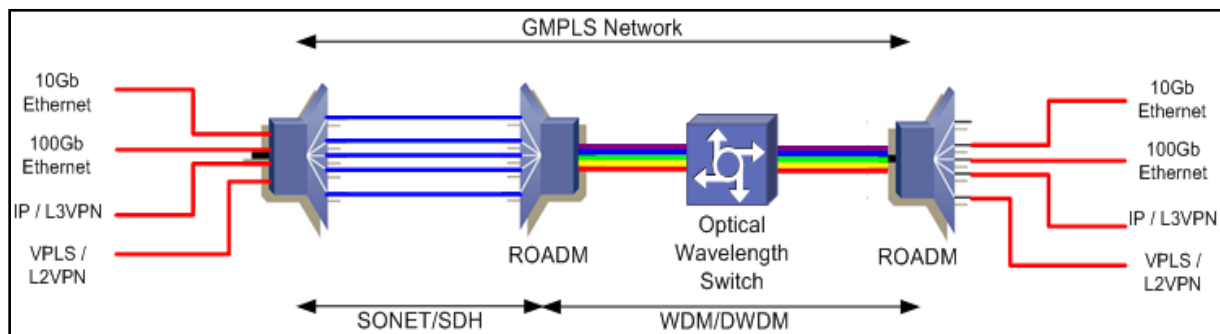


Figure 35: Fonctionnement de GMPLS

5.3 Le plan de contrôle GMPLS

Dans le but de contrôler les composants extérieurs au standard de la couche réseau, un plan de contrôle commun a été développé pour GMPLS. Ce plan de contrôle permet le contrôle total des équipements du réseau.

Le plan de contrôle GMPLS est décomposé en six principales fonctions:

- 1) Découverte des voisins : Dans le but de gérer le réseau, tous les équipements doivent être connus: Switch, multiplexeurs et routeurs. GMPLS va utiliser un nouveau protocole appelé Link Management Protocol (LMP) pour découvrir ces équipements et négocier les fonctionnalités.
- 2) Propagation des états de lien : Le but est non seulement de connaître l'état des équipements (up/down) mais aussi l'état des liens (up/down). Pour propager ces informations, un protocole de routage doit être utilisé. Pour MPLS, les protocoles OSPF ou IS-IS ont été modifiés pour supporter ces fonctions.
- 3) Gestion de l'état des liens : Les protocoles de routage comme OSPF et IS-IS, peuvent être utilisés pour contrôler et gérer la topologie de l'état des liens.
- 4) Contrôle et gestion des routes : MPLS peut utiliser RSVP pour établir un lien de bout en bout. Cependant, si les données MPLS traversées des réseaux télécoms, d'autres protocoles doivent être implémentés, comme UNI, PNNI ou SS7. La gestion des routes est un challenge car de nombreuses organisations de standardisation sont concernées. Actuellement l'IETF est en train de travailler sur des extensions des protocoles RSVP et LDP pour permettre la gestion et le contrôle de routes.
- 5) Gestion des liens : Dans MPLS, le LSP (Label Switch Path) est utilisé pour établir, libérer et agréger les liens. Dans GMPLS, la possibilité d'établir et d'agréger les canaux optiques est

nécessaire. LMP (Link Management Protocol) étend les fonctions MPLS dans le plan optique pour la construction des liens, améliorant la scalabilité.

6) Protection des liens: Un réseau optique intelligent permet l'interaction des réseaux optiques entre eux. Avec GMPLS, au lieu d'avoir une boucle principale et une boucle backup, le réseau créé une véritable maille qui permet d'établir différents chemins. Le réseau optique peut être utilisé aussi bien en méthode de protection un pour un qu'en méthode de protection un pour plusieurs.

6. Bilan de liaison

6.1 Bilan de dispersion

Due à la distance parcourue, on aura besoin de compenser la dispersion, donc avant de faire le bilan de puissance, on va tout d'abord commencer par choisir les modules de compensation de dispersion (DCM) qu'on doit utiliser, chaque DCM à sa propre atténuation.

Elément Type	Distance Km	Max pertes d'insertion (dB)	PMD (ps)	Puissance de saturation (dbm)	Longueur d'onde (nm)
DCM(A)	20	4	0,4	20	1525-1565
DCM(B)	40	5	0,5	20	
DCM(C)	60	7	0,6	20	
DCM(D)	80	8	0,7	20	
DCM(E)	100	9	0,8	20	
DCM(S)	5	2,5	0,3	20	

Tableau 11: Types de DCM

- Calcul du type des DCM

La dispersion chromatique est un étalement temporel, causé par la différence de vitesse de circulation de photons des longueurs d'ondes non semblables, ce qui va agir négativement sur la qualité de la transmission et ca peut altérer les données du trafic.

Pour compenser les effets causés par cette dispersion on va faire appel à un organe spécial nommé DCM, il existe plusieurs types de DCM, ce dernier varie en fonction de la distance pour laquelle il peut compenser ces effets d'étalement temporel.

On va calculer cette distance en utilisant la fonction suivant :

$$\text{Distance (Km)} = \text{Tolérance Dispersion (ps/nm)} \div \text{Coefficient de la dispersion}$$

Comme on utilise la fibre G652, ces données concernant la Dispersion sont valables on aura donc :

$$\text{Distance} = (700 \text{ ps/nm}) \div (17 \text{ ps/nm. Km}) \longrightarrow \text{Distance} = 41,17 \text{ Km}$$

La fibre va compenser automatiquement la dispersion sur une Distance de 41,17 Km, au-delà de cette valeur on doit effectuer notre choix du type de DCM en fonction de la distance qui reste.

Ce tableau résume le nombre de DCM qu'on a besoin dans chaque site :

Agadir---Laâyoune	Distance0	Distance1	Distance0/Distance1	Nbre de DCM
Agadir---Tiznit	107	41,17	65,83	1 DCM(D)
Tiznit---Guelmim	112	41,17	70,83	1 DCM(D)
Guelmim---Tantan	133	41,17	91,83	1 DCM(E)
Tantan---Akhfenir	119	41,17	77,83	1 DCM(D)
Akhfenir---Tarfaya	104	41,17	62,83	1 DCM(D)
Tarfaya---Laâyoune	106	41,17	64,83	1 DCM(D)
Dakhla---Laâyoune				
Dakhla---Laâyoune	585	41,17	543,83	6 DCM(E)
Dakhla---Greguerate				
Dakhla---Greguerate	408	41,17	366,83	4 DCM(E)

Tableau 12: Le type de DCM par tronçon

6.2 Bilan de puissance

$$P_r = P_e + 10 \log N + \text{Gain} - (\text{Affaiblissement} + \text{Marge de coupure}) * L - \text{Marges}$$

Avec :

P_r : La puissance reçue.

P_e : La puissance d'émission.

N: Nombre de longueur d'onde(λ).

L : La longueur du tronçon.

Marges: Marge câble+Marge vieillissement (équipement) +Marge supplémentaire+Affaiblissement des connecteurs.

✓ **Application numérique :**

$P_e = 7$ dBm ; $P_{\text{Seuil}} = -28$ dBm ; **Atténuation fibre** = 0,22 dB/km ;

Affaiblissement des connecteurs = 0,5 dB ; **Marge coupure** = 0,15 dB/km ;

Marge vieillissement=3 dB ; **Marge**=3+3+3+ (0,5+0,5)=10 dB

➤ La liaison Agadir---Laâyoune

- Agadir---Tiznit

$P_e=3,56$ dBm ; $N=7$; Gain=18,55 dB ; $L=107$ km

$$P_r=3,56+10 \log 7+18,55-(0,22+0,15) *107-10=-19,02 \text{ dBm}$$

- Tiznit---Guelmim

$P_e=3,56$ dBm ; $N=6$; Gain=18,88 dB ; $L=112$ km

$$P_r=3,56+10 \log 6+18,88-(0,22+0,15) *112-10=-21,21 \text{ dBm}$$

- Guelmim---Tantan

$P_e=3,56$ dBm ; $N=5$; Gain=21,27 dB ; $L=133$ km

$$P_r=3,56+10 \log 5+21,27-(0,22+0,15) *133-10=-27,39 \text{ dBm}$$

- Tantan---Laâyoune

$P_e=7$ dBm ; $N=4$; Gain_{max}=24 dB ; $L_{\text{Total}}=329$ km

$P_r=7+10 \log 4+24-(0,22+0,15) *329-10= -94,7 \text{ dBm} < P_{\text{Seuil}}= -28 \text{ dBm}$

Solution : Utilisation d'OLA (Optical Line Amplificator)

✓ Portée max :

$$P_{\text{Seuil}} = P_{e \text{ max}} + 10 \log N + \text{Gain}_{\text{max}} - (\text{Affaiblissement} + \text{Marge de coupure}) * L_{\text{max}} - \text{Marges}$$

$$-28 = 7 + 10 \log 4 + 24 - (0,22 + 0,15) * L_{\text{max}} - 10$$

$$L_{\text{max}} = 148,7 \text{ km}$$

$$\text{Portée max} = L_{\text{Total}} / L_{\text{max}} = 329 \div 148,7 = \mathbf{2 \text{ sites OLA}}$$

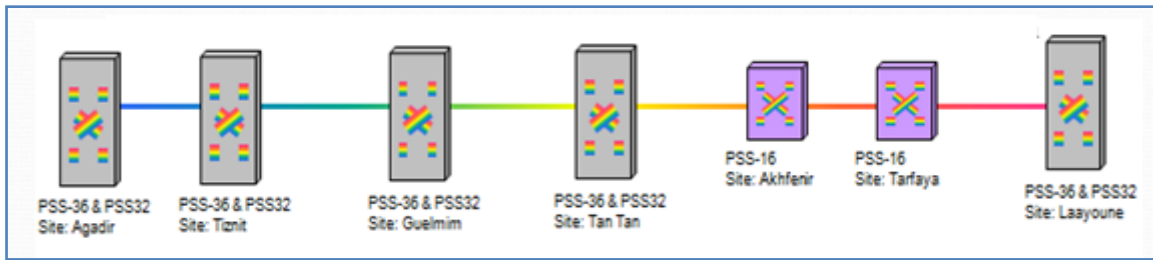


Figure 36: Agadir-Laâyoune

➤ La liaison Dakhla---Laâyoune

$P_e=7$ dBm; $N=2$; $Gain_{max}=24$ dB; $L_{Total}=585$ km

$$P_r = 7 + 10 \log 2 + 24 - (0,22 + 0,15) * 585 - 10 = -192,43 \text{ dBm} < P_{Seuil} = -28 \text{ dBm}$$

Solution : Utilisation d’OLA

✓ Portée max :

$$P_{Seuil} = P_{e_{max}} + 10 \log N + Gain_{max} - (\text{Affaiblissement} + \text{Marge de coupure}) * L_{max} - \text{Marges}$$

$$-28 = 7 + 10 \log 2 + 24 - (0,22 + 0,15) * L_{max} - 10$$

$$L_{max} = 140,56 \text{ km}$$

Portée max = $L_{Total} / L_{max} = 585 \div 140,56 = 4$ sites OLA

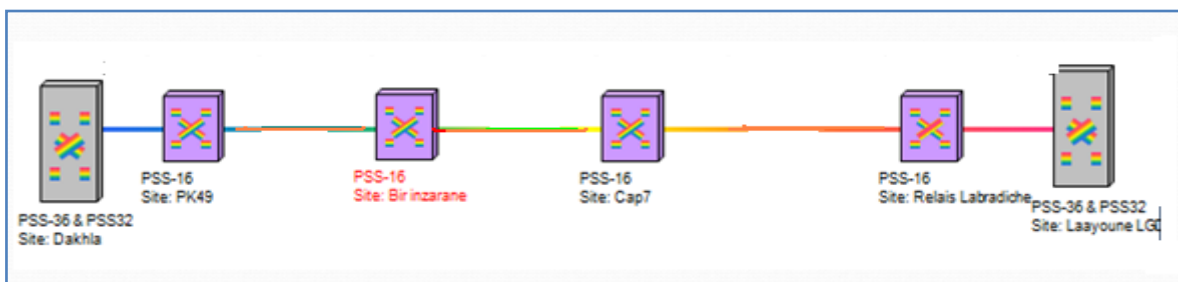


Figure 37: Dakhla-Laâyoune

➤ La liaison Dakhla---Greguerate

$P_e=7$ dBm; $N=2$; $Gain_{max}=24$ dB; $L_{Total}=408$ km

$$P_r = 7 + 10 \log 2 + 24 - (0,22 + 0,15) * 408 - 10 = -126,94 \text{ dBm} < P_{Seuil} = -28 \text{ dBm}$$

Solution : Utilisation d’OLA

✓ Portée max :

$$P_{\text{Seuil}} = P_{e \text{ max}} + 10 \log N + \text{Gain}_{\text{max}} - (\text{Affaiblissement} + \text{Marge de coupure}) * L_{\text{max}} - \text{Marges}$$

$$-28 = 7 + 10 \log 2 + 24 - (0,22 + 0,15) * L_{\text{max}} - 10$$

$$L_{\text{max}} = 140,56 \text{ km}$$

$$\text{Portée max} = L_{\text{Total}} / L_{\text{max}} = 408 \div 140,56 = \mathbf{2 \text{ sites OLA}}$$

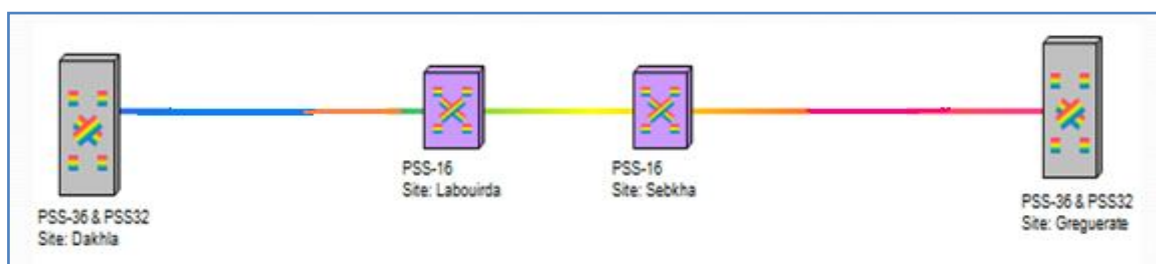


Figure 38: Dakhla-Greguerate



Site répéteur contenant un shelf PSS-16



Noed ASON contenant :

-Un shelf PSS36

-Un shelf PSS32

7. Produits de la série 1830 PSS NG-WDM Alcatel Lucent

Alcatel-Lucent annonce une avancée majeure dans le domaine des réseaux optiques 100G avec une nouvelle technologie représentée sous forme d'un nouvel équipement 1830 Photonic Service Switch. Cette technologie, cohérente et mono-porteuse, transportera les signaux optiques sur des distances beaucoup plus longues que celles possibles aujourd'hui.

La solution optique 100G du 1830 PSS est un système cohérent mono-porteur, autrement dit un système qui utilise une longueur d'onde mono-porteuse pour acheminer les données sur une fibre. Ceci a pour résultat d'accroître la bande passante, d'augmenter la performance et de

réduire les coûts par rapport aux solutions à double porteuse. Elle présente de ce fait des avantages considérables en termes de performance, d'encombrement et d'économie d'énergie.

7.1 Composantes du 1830 PSS NG-WDM Alcatel Lucent

La famille des produits Alcatel-Lucent 1830 Photonic Service Switch (PSS) assure une augmentation du niveau de la flexibilité, de l'automatisation opérationnelle du réseau et de la transparence photonique. Les réseaux photoniques utilisent des opérations simplifiées et accélérées pour transformer le multiplexage WDM en un réel transport avancé qui offre la flexibilité, performance, automatisation et intégration [3].

La famille des produits Alcatel-Lucent 1830 PSS comprend ce qui suit :

- Alcatel-Lucent 1830 PSS-36
- Alcatel-Lucent 1830 PSS-32
- Alcatel-Lucent 1830 PSS-16
- Alcatel-Lucent 1830 PSS-4



Figure 40 :1830 PSS-16



Figure 39 :1830 PSS-32



Figure 41:1830 PSS-36

7.2 Avantages de la famille Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/PSS-32/PSS-16

Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/PSS-32/PSS-16 possède de propres caractéristiques qui le distinguent des autres équipements optiques, parmi ces caractéristiques nous citons:

La plateforme WDM multiservices et multi-portée offre ce qui suit:

- Le meilleur frais du capital Expense/Operational (CAPEX/OPEX).
- Offre une densité inégalée.

Multiplexeur optique add/drop (OADM) avec les configurations suivantes:

- Fixed OADM (FOADM).
- Tunable OADM (TOADM).
- Reconfigurable/Tunable OADM (R/TOADM).
- Cartes transpondeurs optiques universelles.
- Options de reconfigurabilité optique pour la totalité de la Bande-C et le PTM optiques.

Couche photonique de gestion

- Flexibilité à travers l'automatisation.
- Trackeur des longueurs d'ondes.
- Surveillance automatique de la puissance du réseau.
- Outils de design du réseau.
- Nœuds avec auto-mise en service sans transpondeurs.

7.3 Fonctionnement de l'équipement Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/PSS-32/PSS-16

La plateforme Alcatel-Lucent 1830 PSS représente la nouvelle génération Zero-Touch de la solution transparente, avec trois types de châssis, pour les réseaux photoniques. Ces trois châssis composent une famille de services optimisés et une plateforme flexible qui délivre des capacités de transport avancées.

Cet ensemble évolutif et polyvalent supporte le transport et les services appliqués aux longueurs d'ondes comme OTN, SDH/SONET, GigE/10 GigE. Les différentes fonctionnalités que cette solution offre répondent aux besoins et aux attentes du client IAM, en termes des débits supportés, de la capacité demandée, du système de gestion centralisé, des nouvelles techniques implémentées, la mise en place de la stratégie de l'évolution du réseau et de toutes les autres conditions opérationnelles signalées dans le contrat [3].

Conclusion

L'établissement du bilan de liaison optique reste parmi les tâches les plus délicates dans un projet de transmission. En effet, il nécessite la connaissance précise de l'emplacement des sites par lesquels passe la fibre, ces emplacements ont un impact direct sur le choix des amplificateurs avec les gains appropriés et aussi sur le choix de DCM.

La puissance de sortie du LASER dépend de plusieurs paramètres à savoir le nombre de longueur d'onde à transmettre et les débits transportés, de plus la configuration de l'équipement NG-WDM prend en considération un bilan de liaison dédié pour la communication entre les cartes de gestion et les cartes de trafic disponible dans les différents slots.

Conclusion générale

Le travail de ce mémoire s'inscrit dans le contexte d'établir une liaison NG-WDM entre Agadir et Greguerate.

Le recours à la technologie WDM permet de répondre à l'augmentation de la demande en termes de largeur de bande, de capacité de liaisons et de rapidité des transmissions. C'est dans cette perspective que les ROADMs ont été développés. Ils permettent une meilleure gestion des changements des flux de communication dans les réseaux.

De plus, l'introduction du protocole GMPLS avec ses différents plans de gestion adaptés à la fibre optique a poussé vers l'avant la flexibilité des réseaux métropolitains offrant ainsi un meilleur plan d'acheminement contenant plusieurs routes de secours en cas de détection d'une coupure dans la route principale et cela ne peut que donner plus de chance pour le routage du trafic et par conséquent une qualité de service meilleure.

Dans un projet de transmission optique, la connaissance du réseau de l'opérateur et l'emplacement des sites reste une partie primordiale qui interagit directement sur le bilan de la liaison, le choix des DCMs et les amplificateurs de lignes, un choix qui reste sujet à modification tout au long du projet tant que l'installation n'est pas encore sur le terrain, en effet toute simulation reste juste une partie introductive pour valider quelques résultats théoriques et exécuter la configuration de base des équipements NG-WDM.

Annexe

Réseau en anneau : Tous les nœuds sont reliés entre eux dans une boucle fermée. Les données circulent d'un nœud au suivant. Un nœud n'accepte une donnée en circulation sur l'anneau que si elle correspond bien à son adresse.

Les réseaux de bragg : Un filtre à réseau de Bragg ou réflecteur de Bragg permet de réfléchir une ou plusieurs longueurs d'onde déterminées d'un signal lumineux multichromatique. Il agit comme un miroir permettant de réfléchir jusqu'à 99,5% de l'énergie incidente des longueurs d'onde en question.

Les circulateurs optiques : Un circulateur optique est un composant à 3 ou 4 ports qui permet à la lumière de circuler dans une seule direction : du port 1 au port 2, du port 2 au port 3, etc. Ce qui signifie que si une lumière émise par le port 2 est réfléchi vers le circulateur, elle ne sera pas acheminée vers le port 1 mais vers le port 3.

OSS/BSS : Un Operations Support System ou un Operational Support System (abrégé en OSS) est l'ensemble des composants opérationnels ou les systèmes informatiques utilisés par un opérateur de télécommunications. Elle est synonyme de maintenance opérationnelle dans le domaine des télécommunications.

Le terme OSS est habituellement synonyme de systèmes de réseaux informatiques qui comprennent : le réseau de télécommunications lui-même et le maintien des processus tels que la maintenance du réseau.

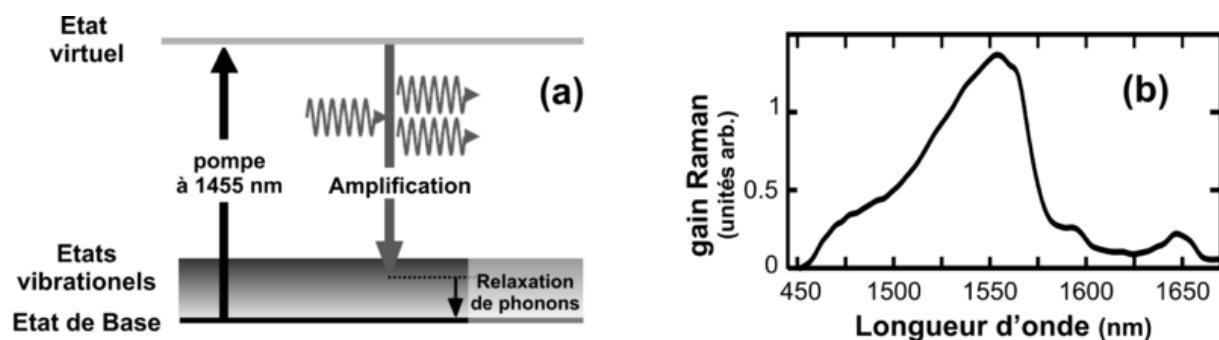
Le maintien des processus, avec ou sans automatisation, est assuré par des composants logiciels back-office qui travaillent en interaction les uns avec les autres et qui sont utilisés dans différents services :

- provisioning
- le recensement
- la performance et Qualité de service
- la gestion de la sécurité
- l'inventaire
- l'installation et la configuration des composants réseau
- la gestion des erreurs réseaux.

Le terme Business Support System ou BSS est un terme généraliste récent qui fait référence aux solutions Métier, qui traitent avec les clients, le maintien des processus tels que la prise de commandes, le traitement des factures, et la collecte des paiements. Les deux systèmes sont souvent abrégés ensemble BSS/OSS ou simplement B/OSS.

Raman : Les amplificateurs Raman n'utilisent pas les transitions atomiques d'ions dopés terres-rares dans les fibres mais se basent sur un échange d'énergie par diffusion Raman. Tous les matériaux ont un spectre Raman caractéristique. Un faisceau laser de pompage injecté dans la fibre (dans le sens de propagation du signal ou préférentiellement en sens inverse) va amplifier la lumière décalée vers les basses fréquences d'environ 13,2 THz, valeur caractéristique du décalage Raman dans la silice. Pour les télécommunications optiques usuelles à 1 550 nm, il faut donc utiliser un laser de pompage autour de 1 450 nm.

L'amplification Raman présente divers avantages. Elle ne nécessite pas de fibres spéciales. Elle peut donc être utilisée directement dans les fibres de communication et elle se répartit naturellement le long de la fibre. On parle alors d'amplification Raman distribuée. Une amplification distribuée dégrade moins le rapport signal à bruit qu'une amplification localisée. L'amplification Raman présente également des atouts non-négligeables dans les communications multiplexées en longueurs d'ondes car sa bande passante de gain est supérieure à celles offertes par les autres techniques d'amplification. En revanche, elle requiert une forte puissance optique de pompage.



EDAF : Les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium sont les plus communs.

Les longueurs d'ondes de travail sont réparties en deux fenêtres. La bande *Conventionnelle* (d'où C-Band) entre 1 525 nm et 1 565 nm et la bande Longue (appelée L-Band) entre 1 570 nm et 1 610 nm. Ces deux bandes peuvent être indifféremment amplifiées par ce type

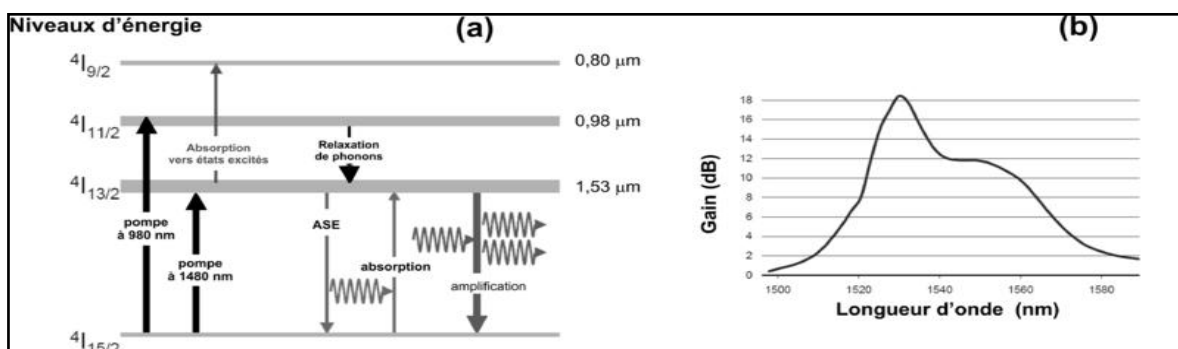
d'amplificateur, mais on préfère souvent utiliser des amplificateurs optimisés pour chaque application.

La principale différence entre les amplificateurs pour bande C ou L est que pour la bande L, la longueur de fibre dopée est nettement plus longue, ce qui nécessite un pompage optique moins fort.

Il existe deux longueurs d'onde pour le pompage optique de ce type d'amplificateur : 980 nm et 1 480 nm. La longueur d'onde de 980 nm est habituellement utilisée pour des équipements à faible bruit. Par contre, comme la fenêtre d'absorption est relativement étroite, on doit utiliser des sources lasers stabilisées. La fenêtre d'absorption de la longueur d'onde de 1 480 nm est plus large et est habituellement utilisé pour des amplifications de plus forte puissance. Le pompage optique à ces deux longueurs d'ondes est habituellement utilisé en conjonction dans les systèmes.

Les amplificateurs à fibre dopée à l'erbium ont été inventés par une équipe comprenant David Payne de l'University of Southampton ainsi qu'un groupe des Laboratoires AT&T Bell incluant un français, Emmanuel Desurvire.

L'EDFA est un amplificateur optique à fibre dopée aux ions erbium composé d'une petite longueur de fibre dopée aux ions Er^{3+} . Le signal optique à amplifier ainsi que le laser pompe (apportant l'énergie) sont couplés dans la fibre dopée et émettent dans la même direction.



Exigences techniques

- ✓ Caractéristiques mécaniques

Le Fournisseur devra tenir compte des points suivants :

- La réalisation mécanique des équipements devra être aussi modulaire que possible.

- La qualité de la construction mécanique devra être conforme à la norme standardisée IS09001.
- La construction mécanique devra être conçue conformément à la recommandation ETS300-119 de l'ETSI.
- Le fournisseur doit indiquer les caractéristiques mécaniques et les dimensions des bâtis et châssis en vue d'étudier leur implantation dans les stations. La fixation contre les murs ne sera pas acceptée.
- Les bâtis doivent être des standards 19" ou ETSI, avec une hauteur de 2200mm environ. Les bâtis doivent être fournis avec des caches latéraux et arrières et des portes ouvrantes en face avant. Ces portes doivent être entièrement transparentes .
- Le fournisseur doit indiquer clairement le nombre de châssis par bâti. Ce nombre doit être bien étudié afin de permettre une bonne circulation d'air dans le bâti.

✓ Conditions climatiques

Les équipements doivent supporter sans climatisation un écart de température ambiante compris entre -10°C et 50°C avec une humidité relative allant jusqu'à 99% à 30°C.

✓ Alimentation et consommation en énergie

Les équipements fournis par le Fournisseur doivent tenir compte des points suivants :

- La tension d'alimentation du bâti est de -48V CC nominale. Une variation de tension d'alimentation de -36 à -72 volts CC ne doit entraîner aucune répercussion sur la qualité de la liaison ou boucle.
- L'alimentation du bâti devra être secourue et chacune des deux unités devra alimenter le bâti entier. L'alimentation du châssis devra être également secourue. La commutation des unités d'alimentation doit être automatique et ne provoquera aucune perturbation de la transmission .
- L'entrée et la sortie de l'unité d'alimentation seront isolées galvaniquement.
- Le Fournisseur devra indiquer la consommation en énergie ainsi que le dégagement calorifique pour :
 - Chaque module ou unité ;
 - Chaque type d'équipement ;
 - Chaque station.

- Un coffret de distribution d'énergie et d'alarme de type professionnel, doit être prévu pour chaque travée. Une documentation technique détaillée (avec schéma) du coffret doit être jointe obligatoirement à la soumission. .

– **Précautions**

✓ Sécurité des équipements

L'équipement du Fournisseur devra être conforme aux normes de sécurité : EN 60825-2 relative à la sécurité des systèmes de télécommunications sur fibres optiques et EN 41003 relative à la sécurité des équipements de télécommunications ainsi que les normes les plus récentes en vigueur.

✓ Protection du personnel contre les accidents

Les précautions nécessaires doivent être prises afin de protéger le personnel du Fournisseur contre tout danger éventuel dû aussi bien aux tensions normales de fonctionnement qu'aux tensions et aux courants induits.

En cas de problème sur le câble ou sur les équipements, la coupure automatique des lasers doit être prévue au niveau de tous les équipements NG-WDM.

Les mesures de sécurité appropriées doivent être prises en compte pour qu'en cas de conditions anormales, les conditions énoncées dans la recommandation 479 de la CEI ainsi que les dernières recommandations en vigueur soient satisfaites.

Les bracelets de protection doivent être obligatoirement fournis.

✓ Reconnaissance des sites

Elle a pour objet de déterminer l'implantation des équipements, l'infrastructure existante et nouvelle, les câbles et le matériel d'installation nécessaires au Projet.

Dans le cadre de la reconnaissance des sites et suite aux visites effectuées par le Fournisseur, en présence du représentant d'IAM aux stations de transmission, un rapport de reconnaissance sera établi. Deux (02) exemplaires de ce rapport seront soumis à l'approbation d'IAM. Ils doivent être remis dans un délai n'excédant pas un mois après la date de reconnaissance.

L'édition définitive doit être remise en deux exemplaires à IAM- Direction Déploiement Accès, Transmission et Environnement et un exemplaire à chaque Direction Régionale concernée dans un délai maximal de 15 jours après approbation.

✓ Installation des équipements dans les centres

L'installation, le transport et la mise en service de tous les équipements objet du contrat sont à la charge du Fournisseur. L'installation des équipements contre le mur des stations n'est pas acceptée. Le Fournisseur doit fournir toute l'infrastructure mécanique nécessaire pour l'installation des équipements conformément aux règles de l'art. L'esthétique des stations doit être assurée.

– **Matériel d'installation**

La fourniture et la mise en place des câbles d'installation et des chemins de câble pour chaque station sont à la charge du Fournisseur.

Le Fournisseur s'engage à fournir tout le matériel nécessaire pour effectuer l'installation et la mise en service des équipements objet du présent Projet.

Le montant alloué à ce matériel est forfaitaire ; il est censé comprendre tout le matériel d'installation nécessaire à l'installation des équipements objet du contrat.

✓ Longueurs à prendre en considération

Les longueurs ci-dessous doivent être prises en considération lors du calcul du matériel d'installation au niveau de chaque station :

- La distance séparant le répartiteur numérique des équipements est 60 mètres.
- La distance séparant le répartiteur optique des équipements est d'environ 20 mètres ;
- La distance séparant le répartiteur optique de la tête de câble (déjà existante) est d'environ 20 mètres ;
- La distance séparant l'atelier d'énergie des équipements est d'environ 120mètres ;
- Chemin de câble de 600 millimètres de largeur et de 20 mètres de longueur (offre de base) ;
- Chemin de câble de 300 millimètres de largeur et de 20 mètres de longueur (option).
- Chemin de câble de 300 millimètres de largeur et de 60mètres de longueur (option).

Lors de la reconnaissance des sites, le Fournisseur doit déterminer les longueurs optimales des câbles d'installation, d'énergie et les chemins de câbles.

✓ Composition du matériel d'installation

Le matériel d'installation comprend :

- Câbles d'énergie et de mise à la terre ;
- Jarretières optiques et câbles amorces avec connecteurs FC/PC ;
- Chemin de câble (énergie, Câble FO et Jarretières optiques, etc.). Les câbles d'énergie, les câbles HF et les jarretières optiques doivent être protégés et seront séparés les uns des autres par des gorges ou des goulottes. Les jarretières optiques de ligne doivent aussi être séparées par direction.
- Cordons de mesures et d'essai.
- Matériel nécessaire à l'exploitation des équipements.
- Câbles d'installation à paires symétriques pour le renvoi des accès à E1.
- Câbles d'installation coaxiaux pour le renvoi des accès électriques à E3, 140Mbit/s et 155Mbit/s.
- Connecteurs à paires symétriques 120ohms.
- Connecteurs coaxiaux 75 ohms.
- Chemin de câble (câbles à paires symétriques, câbles coaxiaux, câbles d'énergie, Câble FO et Jarretières optiques, etc.). Les câbles d'énergie, les câbles HF et les jarretières optiques doivent être protégés et seront séparés les uns des autres par des goulottes.

L'outillage et le matériel nécessaires pour effectuer les installations, les essais et les mises en service sont à la charge du Fournisseur.

SDH :La hiérarchie numérique synchrone ou SDH (en anglais Synchronous Digital Hierarchy) est un ensemble de protocoles pour la transmission de données numériques à haut débit. Il relève du niveau 1 du modèle en couches de l'OSI et correspond à SONET aux États-Unis. En pratique, ces protocoles sont utilisés par les opérateurs de télécommunication pour leur réseau, mais la SDH fait aussi l'objet de services vendus aux entreprises, comme l'offre SMHD de France Télécom, une offre de boucle(s) privative(s) basée sur la technologie SDH.

C'est un réseau de distribution d'horloge qui permet la délivrance de bits en synchronisme de l'horloge de référence.

L'intérêt de la SDH est la richesse des fonctions de gestion, de surveillance, d'alarmes et d'autocicatrisation.

Par ailleurs, la SDH constitue la troisième génération de la hiérarchie de multiplexage des infrastructures des opérateurs où elle succède à la PDH (E1, E2, E3, etc. en Europe, T1, T2, T3, etc. aux États-Unis). Ses débits sont appelés STM-i avec le STM-1 égal à 155 Mbit/s. STM signifie Synchronous Transfer Module. Le STM-64 correspond à un débit de 10 Gbit/s où la SDH commence à être concurrencée... par Ethernet. En effet, SDH est une technique originellement conçue pour gérer les communications en mode circuit, typiquement les communications téléphoniques. Or depuis 2000, le volume de données de type paquet a supplanté en quantité celui des données de types téléphoniques, laissant SDH un peu inadapté aux nouveaux services qu'on lui demande aujourd'hui. Une nouvelle version de SDH, SDH NG (pour Next Generation), basée sur GFP et contournant ATM et les problèmes d'overhead que cette technologie introduisait, a vu le jour pour faire face à cette situation sans qu'elle soit pour le moment encore largement déployée.

Glossaire

A

ASON: Automatically Switched Optical Network

C

CD-ROM: Compact Disc Read Only Memory

CWDM: Coarse Wavelength Data Multiplexing

D

DWDM: Dense Wavelength Data Multiplexing

DW: Digital Wrapper

DCM: Dispersion-Compensating Module

E

EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier

F

FDM: Frequency Division Multiplexing

G

GMPLS: Generalized Multi-Protocol Label Switching

I

IS-IS: Intermediate system to intermediate system

L

LSP: Label Switch Path

LMP : Link Management Protocol

M

MIE : Multiplexeur à Insertion/Extraction

MEMS: Micro-Electro-Mechanical-Systems

MPLS: Multi-Protocol Label Switching

N

NGWDM: Next Generation Wavelength Division Multiplexing

O

OADM: Optical Add/Drop Multiplexer

OTN: Optical Transport Network

OLA: Optical Line Amplificator

OTS: Optical Transmission Section

OMS: Optical Multiplex Section

OCh: Optical Channel

OTUk: Optical Transport Unit

ODUk : Optical Data Unit

OPUk: Optical Payload Unit

OTH: Optical Transport Hierarchy

OSPF: Open Shortest Path First

OCC : Contrôleurs de raccordement optique

P

PI: Physical Interface

PSS: Photonic Service Switch

R

ROADM: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer

RSVP: Resource Reservation Protocol

S

SDH: Synchronous digital hierarchy

T

TDM: Time-Division multiplexing

U

UNI: User Network Interface

W

WDM : Wavelength Division Multiplexing

Bibliographie

- [1] M. Belmaati (Cours : Transmission SDH, Administration des réseaux et Télécoms).
- [2] Optical Networks Tutorial (Alcatel).
- [3] Technical Handbook 1830PSS (Alcatel).
- [4] <http://www.tellabs.com/products/6000/tlab63xxwdm.pdf>
- [5] <http://www.epinard.free.fr/SDH/WDM.php>
- [6] http://www.interdata.fr/files/uploads/Technologie_WDM.pdf
- [7] <http://wapiti.telecomlille1.eu/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pubexposes/exposesrio2002/Brunet-Suarez/HTML/chapitre1.htm>
- [8] <http://www.licm.fr/IMG/pdf/chapitreMPLS-GMPLS.pdf>
- [9] http://www.renater.fr/IMG/pdf/2006-10-20_OTN.pdf
- [10] <http://www.cvt-dallas.org/March2010.pdf>
- [11] <http://www.telecomabc.com/a/ason.html>
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Automatically_switched_optical_network
- [13] http://cwdm.fr/#_Toc260905080
- [14] <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/wavelength-division-multiplexing>
- [15] http://www.lirmm.fr/~ajm/Cours/04-05/DESS_TNI/Rapports/RapportOptique.pdf
- [16] <http://www.site.uottawa.ca/~vukovic/UoO%20Pub/PN%202006.pdf>
- [17] <https://www.smartsheet.com/b/home>
- [18] Livre Télécoms sur fibre optique (Auteur: Pierre Lecoy, Date de parution: 30/11/2007(3^e édition))
- [19] Optical WDM Networks (Auteur: Biswanath Mukherjee, Date de parution: mars 2006)