

Université Sidi Mohamed Ben Abdellah Faculté des Sciences et Techniques Fès Département Génie Electrique



Mémoire de Projet de fin d'étude

Préparé par

Meryem BENCHEKROUN

Pour l'obtention du diplôme Ingénieur d'Etat en SYSTEMES ELECTRONIQUES & TELECOMMUNICATIONS

Intitulé

Etude et dimensionnement d'une boucle NGWDM 100 G sur le réseau IAM.

Encadré par :

Pr . Tijani LAMHAMDI

Mr Youssef ELMAADANI (Huawei technologies)

Soutenu le 22 Juin 2016, devant le jury composé de :

Pr Tijani LAMHAMDI....: Encadrant

Mr Youssef ELMAADANI...: Encadrant

Pr Farid ABDI...: Examinateur

Pr Nour said ECHATOUI ...: Examinateur

ANNEE UNIVERSITAIRE 2015- 2016

AVANT-PROPOS

Titre: Rapport de stage PFE

Stagiaire: BENCHEKROUN Meryem, FSTF

Intitulé du travail: Etude et dimensionnement d'une boucle NGWDM 100 G sur le réseau IAM.

Organisme d'accueil : HUAWEI technologies.

• Adresse: Av. Annakhil, imm. High Tech, 4°ét. Hay Riyad 10100 Rabat, MAROC

• **Téléphone**: (+212) 37 56 91 99.

• **Fax**: (+212) 37 56 58 35.

• Email: www.huawei.com

Sous l'encadrement de:

Nom	Prénom	Organisme	Email
LAMHAMDI	Tijani	FST Fès	lamhamdi.tijani@yahoo.fr
ELMAADANI	Youssef	HUAWEI Rabat	elmaadani.youssef@huawei.com

Période du stage: du 01/02/2016 au 15/06/2016.



Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance que je ressens. Ainsi je dédie ce travail :

A Dieu source de toute connaissance

A la mémoire de mes grands-parents:

Que la clémence de Dieu règne sur vous et que sa miséricorde apaise votre âme.

A celui qui a toujours garni mon chemin avec force et lumière ... A mon très cher père

Merci d'être ce que tu es et pour tout ce que tu as fait pour nous. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, du mérite et de la confiance en sois face aux difficultés de la vie.

A la plus belle perle au monde...ma tendre mère

Tu es pour moi la meilleure des mères, celle qui a consacré sa vie au bonheur de ses enfants. Tu as toujours été présente à m'écouter, m'encourager, me dorloter, me consoler et subvenir à mes besoins.

J'espère que tu trouveras en ce travail le fruit de tes peines, tes efforts et ton soutien sans limite

A mes frères: Fadel, Mohamed et Yasser

Vous m'avez soutenu et encourager tout au long de mon parcours. L'affection et l'amour que je vous porte sont sans limite. Je vous dédie ce travail en témoignage de l'amour et des liens de sang qui nous unissent.

A mes tantes, mes oncles, mes cousines et cousins:

Que ce travail soit pour vous le témoignage de mes sentiments les plus sincères et les plus affectueux. Puisse Dieu vous procurer bonheur, prospérité et grand succès.

A mon amie Fatima Zahra ATTAR

Merci pour les bons moments qu'on a passé ensemble, de ton soutien et de ta serviabilité. Tu étais toujours là à me soutenir, m'aider et m'écouter.

Que Dieu te protège et te procure joie et bonheur et que notre amitié reste à jamais.

A mes collègues:

A tous les moments qu'on a passé ensemble, à tous nos souvenirs. Je vous souhaite à tous longue vie pleine de bonheur et de prospérité. Je vous dédie ce travail en témoignage de ma reconnaissance et de mon respect.

A tous mes enseignants du primaire, secondaire, CPGE, et FSTF

Aucune dédicace ne saurait exprimer le respect que je vous porte de même que ma reconnaissance pour tous les sacrifices consentis pour mon éducation, apprentissage et instruction. Puisse Dieu tout puisant vous procure santé, bonheur et longue vie.

A tous ce qui me sont très chers et que j'ai omis involontairement de citer.

A tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Je vous dédie ce travail . . .

Remerciement

Au nom d'Allah le plus grand merci lui revient de m'avoir guidé vers le droit chemin, de m'avoir aidée tout au long de mes années d'étude.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mon encadrant Monsieur **LAMHAMDI Tijani**, de m'avoir permis de bénéficier de son savoir dans la matière, pour sa pédagogie, ses compétences et son aide précieux tout au long de ce projet.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à mon encadrant Monsieur **ELMAADANI Youssef**, Product Manager au département solution transmission, à Huawei technologies, pour sa modestie, sa disponibilité, son aide, ses conseils précieux, ses critiques constructives, ses explications et suggestions pertinentes. Merci pour une qualité d'encadrement si sérieuse et si consistante.

Je ne manque pas l'occasion de remercier très grandement Monsieur **BENCHRIFA Abdelaziz** et Monsieur **ERRAGRAGUI Abdenbi** pour leur incontestable contribution à l'accomplissement de mon projet.

Je remercie toutes personnes qui m'a soutenue, d'une manière ou d'une autre, j'éprouve incessamment leur estime et amabilité, je salut cette très haute bienveillance que vous portez à mon égard et qui restera pour toujours graver dans ma mémoire.

Je termine ces remerciements en saluant vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger mon travail.



SOMMAIRE

Terminologies	7
Liste des figures	.8
Liste des tableaux	10
Introduction générale	11
CHPITRE 1 : CADRE ET CONTEXE DU PROJET	
1- Présentation	13
2- Secteur d'activité	. 13
3- Cahier des charges	. 14
Contexte du projet.	. 14
Motivations et objectifs du projet	15
Contraintes du projet	. 15
Planning prévisionnel du projet	. 15
CHAPITRE 2 : COMMUNICATION OPTIQUE	
1. Technologie de transmission WDM	18
Chaine de transmission optique	. 18
Technologie de transmission WDM	19
Principe	
Bandes de fréquence utilisées	20
Différentes Technologies WDM	21
La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)	. 21
La Technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)	. 22
La Comparaison entre la technologie CWDM et DWDM	. 22
Architecture de réseau WDM	23
Point-à-point	23
Chaîne	24
Réseau en anneau	24
Réseau en Boucles tangentes	25
Boucle maillée	25
Types de protection	26
OLP (Optical Line Protection)	26
Inter-Broad Wavelength Protection	27
Les éléments de la technologie WDM	28
Modules de compensation de dispersion chromatique (DCM)	30
Support de transmission	31
2. Etude de la technologie NGWDM	. 32
Le ROADM (Reconfigurable Optical Add and Drop Multiplexer)	32
Réseau de transport OTN (Optical Transport Network)	34
Les entités composant l'entête de l'OTN	. 35

La trame OTN	36
Procédure d'encapsulation.	37
ASON (Automatically Switched Optical Network)	38
Caractéristiques de l'ASON	
Les plans de l'ASON.	
Les protocoles utilisés par l'ASON	
Reroutage	
Protection dans un réseau ASON	
Restauration dans un réseau ASON	42
CHAPITRE 3 : ETUDES DE SYSTEMES NGWDM DE 100G	
1. La détection cohérente	45
Contexte de détection cohérente	45
Technologies mises en œuvre	46
Format de modulation	47
La technologie PMD-QPSK	48
Technique de traitement numérique du signal DSP à détection cohérente	48
2. Critère de qualité d'une transmission 100G par fibre optique	52
Le taux d'erreur binaire (BER pour Bit Error Rate)	52
Rapport signal à bruit OSNR	55
Test de L'OSNR par la fonction du docteur optique	56
CHAPITRE 4 : ETUDES ET DIMENSIONNEMENT D'UNE BOUCLE NO	WDM
100G SUR LE RESEAU D'IAM	
1. Solution HUAWEI Optix OSN 8800	58
2. Planification de la solution 100G au niveau de la boucle de Fès (MW10.1)	59
2-1 Présentataion de la boucle	59
2-2dimensionnement de la boucle	61
Collecte des informations.	61
Planification des carte cohérentes	62
Planification des longeurs d'ondes	67
Planification du budget de puissance	
Planification du hardware	
Planification de l'OSNR	
Planification des modes de protection	
Conclusion générale	
Bibliographie et webographie	
Annexe	76

TERMINOLOGIES:

\boldsymbol{A}

ASON: Automatically Switched Optical Network

ADM: Add/ Drop Multiplexer **ADC** Analog to Digital Converter

\boldsymbol{C}

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing **CD** chromatic dispersion

\boldsymbol{D}

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

DXC: Digital Cross-Connection **DSP** Digital Signa Processing

\boldsymbol{E}

EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier

F

FIU: Fiber Interface Unit

N

NE: Network Element

NG WDM: New Generation Wavelength Division Multip

NMS: Network Management System

0

OTN: Optical Transport Network

OADM: Optical Add/Drop Multiplexing unit

OAU: Optical Amplifier Unit

OLA: Optical Line Amplifier **OLP**: Optical Line Protection

OSNR: Optical Signal to Noise Ratio **OTM**: Optical Terminal Multiplexer **OTU**: Optical Transponder Unit

P

PMD Polarization Mode Dispersion **PDM** Polarisation Division Multiplexing

R

REG: Regenerator

T

TM: Terminal Multiplexer

TDM: Time Division Multiplexing

W

WDM: Wavelength Division Multiplexing

LISTE DES FIGURES

Figure 1: HUAWEI de part le monde	13
Figure 2 : Clients HUAWEI	14
Figure 3 :Planning du projet	15
Figure 4 : Liaison de télécommunication optique standard	18
Figure 5 : Comparaison entre le système traditionnel et le réseau en WDM	19
Figure 6 : Principe d'une liaison WDM	20
Figure 7 : L'atténuation dans la fibre de Silice	
Figure 8 : Canaux CWDM	22
Figure 9: Comparaison des canaux CWDM (haut) et DWDM (bas)	22
Figure 10: Schéma d'un réseau WDM point-à-point	
Figure 11 : Schéma d'un réseau WDM en chaine	
Figure 12 : Schéma d'un réseau WDM en anneau	. 24
Figure 13 : Boucles tangentes	25
Figure 14 : Boucle maillée	25
Figure 15: Optical Line Protection OLP	26
Figure 16: Inter-Broad Wavelength Protection	. 27
Figure 17: Schéma général d'un réseau WDM	27
Figure 18: Schéma graphique de l'OTM (Signal flow)	28
Figure 19: Schéma graphique de l'OLA	29
Figure 20: Schéma bloc d'un FOADM série (signal flow)	29
Figure 21: Schéma graphique du REG	30
Figure 22: Exemple d'utilisation modules de compensation	31
Figure 23: Structure d'une fibre optique	31
Figure 24 : Schéma d'un réseau de communication par fibre optique en utilisant les ROADM	32
Figure 25: Schéma représentatif du ROADM	33
Figure 26: Présentative des trafics envoyés par l'OTN	34
Figure 27: la trame OTN	36
Figure 28: procédure d'encapsulation de l'OTN	37
Figure 29: le transport OTN avec la technologie de multiplexage par longueurs d'onde	. 38
Figure 30: les trois plans de l'ASON	
Figure 31: Restauration du trail	42
Figure 32 : Les technologies clés des systèmes 100G	. 46
Figure 33 : Représentation du champ électrique en fonction du temps pour les formats QP	SK
et OOK ainsi que représentation du diagramme de constellation et du spectre	47

Figure 34 : Module de transmission de la technologie détection cohérente48	
Figure 35 : Représentation schématique d'un récepteur cohérent	51
Figure 36 : L'encodage/décodage FEC	52
Figure 37: Le diagramme d'évolution de la technologie FEC pour les systèmes 100G	53
Figure 38 : L'encodeur/décodeur FEC à décision stricte	
Figure 39: Décodeur SD FEC	54
Figure 40 : NGC en fonction de surdébit	54
Figure 41 : La capacité de la fonction OD	56
Figure 42 : Optix OSN 8800	59
Figure 43:La boucle MW10.1	60
Figure 44:Structure du cabinet N63B	62
Figure 45 :La matrice de brassage UXCH	65
Figure 46 :Solution proposée pour le site Fès VN	67
Figure 47: Amplificateurs optiques	68
Figure 48 : Shéma interne de OAU	69
Figure 49: Liaison entre Fès VN et Fès Narjiss	69
Figure 50:Eléments de la liaison	70
Figure 51 : Bilan complet de la liaison	71
Figure 52 : Planification des cartes dans le cabinet Fès VN	71
Figure 53: Le calcul d'OSNR sous MDS 6600	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Bandes de fréquence WDM standardisées par l'ITU-T	21
Tableau 2 : Spécifications des Technologies WDM	. 21
Tableau 3: Tableau comparatif des technologies CWDM et DWDM	.23
Tableau 4 : Comparaison entre HD-FEC et SD-FEC au niveau de sur débit	55
Tableau 5 : Distances entres les sites et atténuations.	60
Tableau 6 : Les types de stations	60
Tableau 7 : Matrice de trafic NG WDM de la boucle MW10.1	61
Tableau 8 : Les caractéristiques optiques de la carte TN54TTX	63
Tableau 9 : Les caractéristiques optique de la carte TN54NS4.	64
Tableau 10 : Planification des longueur d'ondes sur le site Fès VN	68
Tableau 11 : Les caractéristiques des amplificateurs.	69
Tableau 12 : Perte d'insersion des équipements.	70

INTRODUCTION GENERALE

Face à l'expansion des services multimédia tels que la VoIP, la vidéo, les jeux en ligne et les applications post-à-post, la demande en bande passante augmente exponentiellement. Les estimations actuelles prévoient encore une augmentation soutenue du trafic de données de l'ordre de 50% par an pour les dix prochaines années. Ainsi, les opérateurs exigent non seulement un réseau de transmission très longue distance mais aussi un réseau de transmission de très haute capacité. Satisfaire ces deux exigences constitue un véritable défi technologique.

La norme aujourd'hui dans les systèmes longue distance terrestres est d'utiliser les fibres monomodes, le multiplexage en longueurs d'ondes (WDM) simultanément amplifiées par un amplificateur optique (typiquement EDFA), la gestion de dispersion et les codes correcteurs d'erreurs. Ces systèmes peuvent généralement transporter 80 à 100 canaux multiplexés en longueur d'onde, un nombre qui reste principalement limité par la bande passante restreinte des amplificateurs optiques actuels. Le present projet entre dans la mission que s'est donnée Maroc Telecom : la mise en place d'un système NGWDM 100 G sur son réseau .

Dans le cadre de ce stage de fin d'études au sein de Huawei Technologies, J'ai effectué une étude détaillée des technologies de transmission optique à savoir WDM et la NG-WDM. Cette dernière n'est déployée que dans peu de pays - y compris le Maroc – et vise principalement à rendre les réseaux plus intelligents, autonomes et transparents vis-à-vis des différents types de services. C'est une nouvelle génération qui présente des intérêts économiques considérables pour les opérateurs, les équipementiers ainsi que les utilisateurs de service.

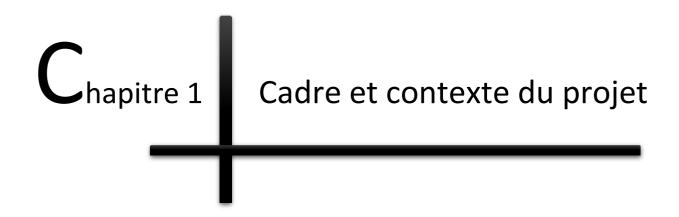
Le présent rapport est structuré de la manière suivante :

Le premier chapitre commence par une présentation de l'organisme d'accueil et le contexte général dans lequel s'inscrit le projet.

Le deuxième chapitre est dédié aux principes de la transmission optique ainsi que les motivations à migrer vers les systèmes à base de la NG- WDM.

Le troisième chapitre est consacré à la nouvelle génération WDM et la technologie ASON qui introduiront les systèmes NGWDM 100 G.

Le dernier chapitre explicite la planification et le dimensionnement d'une liaison NG WDM de Maroc Telecom à l'aide d'équipements nouvelle génération.



Introduction

Dans ce chapitre, je vais présenter l'organisme d'accueil, les détails du projet, aussi bien que le contexte, les motivations, les contraintes et les objectifs de ce projet.

1. Présentation

Son siège social se trouve à Shenzhen en Chine. Créé en 1988, le groupe est devenu un fournisseur dominant en Chine, puis s'est lancée à la conquête des marchés internationaux en adoptant une politique de prix très agressive. Leur slogan s'intitule « Enriching Life Through Communication ». Elle Dispose d'un réseau mondial de clients couvrant plus de 170 pays et emploie 170 000 personnes dans le monde. En 2015, selon ses dirigeants, HUAWEI a réalisé un chiffre d'affaire de 60.8 milliards de dollars US, en hausse de 37 % par rapport à 2014, ce qui la situait parmi les cinq premiers équipementiers à l'échelle mondiale.



Figure 1: Huawei de part le monde

2. Secteur d'activité :

HUAWEI Télécommunications est une entreprise active dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC). Elle fournit des matériels, des logiciels, des prestations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises. Ses principaux concurrents économiques sont: *Cisco Systems, Alcatel-Lucent, Ericsson, Nokia Siemens Networks, Nortel, NEC et ZTE* qui ont vu leurs parts de marché en Asie s'effriter et ont assisté à la montée en puissance du groupe chinois sur les marchés émergents et occidentaux.

La figure 2 montre les opérateurs qui font confiance à Huawei Technologies :



Figure 2: Clients Huawei

La mission principal de Huawei est de fournir d'excellents services et solutions de réseaux de communications à ses clients. Huawei a plus de 170.000 employés, environ 46% d'entre eux sont engagés dans la recherche et le développement (R & D). Ses produits et services ont été déployés dans plus de 170 pays et il sert actuellement 45 des 50 plus grands opérateurs de télécommunications dans le monde.

Durant le déroulement de mon stage j'ai coopéré avec le département "TRANSMISSION" plus précisément avec l'équipe de dimensionnement. Sa mission fondamentale est de gérer toutes les étapes de dimensionnement des réseaux: la conception, l'acquisition, l'installation, l'exploitation, la surveillance et la maintenance des équipements nécessaires pour répondre aux besoins du client.

3. Cahier des charges

Contexte du projet

Le présent rapport s'implique dans le cadre d'un projet prometteur, initié par Maroc Telecom, dont l'étude et l'exécution sont confiées à l'équipementier Huawei Technologies. Dans le but d'augmenter sa bande passante de transmission l'opérateur historique exprime le besoin d'avoir un haut débit de transmission des données au sein de son réseau. C'est dans ce sens que l'équipementier Huawei s'est vu remettre la mission d'étudier, d'implémenter et d'intégrer le système de transmission 100G au réseau de Maroc Télécom.

Mon stage de fin d'études s'est déroulé au sein de l'équipe du projet Transmission 100G de la société Huawei. Durant ce stage, j'ai été associé à toutes les phases du projet de l'études comparative des différents systèmes de transmission à la planification et au dimensionnement en passant par la mise à jour des cartes de service et de contrôle du réseau optique.

Motivations et objectifs du projet

L'évolution des technologies utilisées pour la téléphonie connait continuellement des changements, les réseaux de l'opérateur Maroc Télécom deviennent de plus en plus saturé. En effet, l'architecture du réseau d'IAM intègre divers systèmes de transmission (2,5G, 5G, 10G et 40G). Vu cette insuffisance en termes de bande passante qui est principalement dû à l'intégration des technologies nouvelles (2G, puis 3G, 4G et bientôt la 5G), Maroc Télécom se lance le défi d'intégrer le système de transmission 100G afin d'aboutir à un réseau hautement fiable et capable de véhiculer la totalité du trafic (mobile, fixe et data).

Ce projet consiste en la planification et le dimensionnement des canaux de 100 G au niveau d'une nouvelle boucle NG-WDM sur la ville de Fès..

Contraintes du projet

Le travail consiste à dimensionner au niveau d'une boucle définit par IAM, des longueurs d'onde 100 G sur des points stratégiques, choisir les cartes à ajouter au niveau de chaque site et planifier les longueurs d'onde pour chaque lien. Les exigences à prendre en compte en termes de longueurs d'ondes à ajouter sont fournies par Maroc Telecom.

Planning prévisionnel du projet

La planification est une étape très importante permetant d'assurer le bon déroulement du projet tout au long des phases constituant le cycle de développement.

Rien que l'exercice de création d'un planning est déjà riche d'enseignement en matière de gestion prévisionnelle d'un certain nombre de risques. En effet, l'élaboration d'un planning oblige à se projeter dans le futur, à réfléchir aux tâches à mener, à déterminer le délai de chaque tâche et par conséquent le délai de tout le projet.

Février	Mars	Avril	Mai	i	Juin	n.
			Docume	ntatio	n techniq	ue
Etud	e du cahier des c Planifi	harges				
	Planifi	cation de la solu	tion			
Rédaction du	rapport					

Figure 3: planning du projet

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le contexte général du projet, ainsi que son objectif. Le prochain chapitre sera axé sur l'étude des technologies de transmission optique.



Introduction

Pendant de nombreuses années le seul moyen d'augmenter la capacité d'un réseau de télécommunication était de rajouter des fibres optiques. Ensuite, l'idée du multiplexage qui consiste à transmettre simultanément un certain nombre de signaux sur une seule ligne s'est imposée. Le gain visé est simple : économiser le milieu de transmission en le partageant entre plusieurs signaux.

Nous nous intéressons dans ce chapitre à la fibre optique qui a connu de nombreuses avancées vers la technologie de multiplexage en longueur d'onde WDM amènant ainsi une multiplication par un facteur considérable de la capacité du réseau. La véritable révolution de la technologie **WDM** va se produire avec l'apparition de nouvelle génération WDM (**NGWDM**) qui apporte notamment plus d'intelligence au niveau des nœuds et permet de surmonter les limitations des générations antécédents et le protocole ASON tout en mettant l'accent sur les avantages de ces deux concepts. L'intérêt principal de cette technique, est de pouvoir réutiliser la fibre déjà installée, ce qui optimisera considérablement le coût pour de nouvelles infrastructures.

1. Technologie de transmission WDM Chaine de transmission optique

Le schéma standard d'une liaison de télécommunication optique est représenté sur la figure suivante:

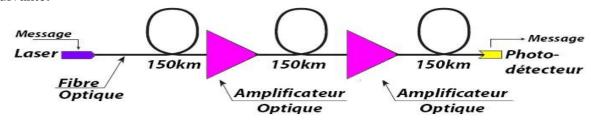


Figure 4 : Liaison de télécommunication optique standard

La lumière émise par le signal laser est modulée en amplitude pour coder le message à transmettre : pour un message numérique, ce codage est simplement une série d'allumages/extinctions de la lumière laser pour représenter respectivement les 0 et les 1. La lumière modulée est injectée dans la fibre optique, et va ainsi pouvoir se propager jusqu'à la sortie de la fibre. En sortie, une photodiode détectrice traduit en signaux électriques le message émis.

La Technologie WDM

La figure 5 montre la différence entre l'approche traditionnelle et le réseau WDM qui offre un service rapide avec des coûts d'exploitation réduit .

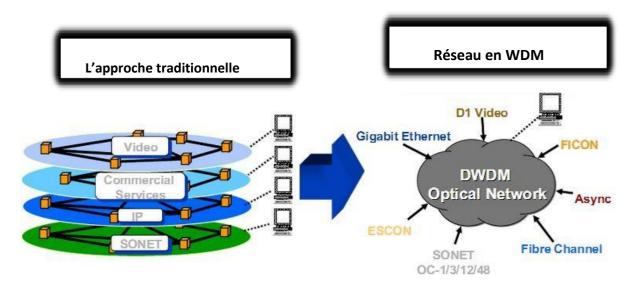


Figure 5 : Comparaison entre le système traditionnel et le réseau en WDM

Principe

A l'inverse de la technologie TDM qui n'utilise qu'une seule longueur d'onde par fibre optique, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) met en œuvre un multiplexage de longueurs d'onde. L'idée est d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur plusieurs longueurs d'ondes distinctes. La fibre optique se prête bien à ce type d'usage car sa bande passante est très élevée : de l'ordre de 45THz.

La figure 6 ci-dessous nous montre un système classique basé sur la technique WDM. A l'émission, on multiplexe N canaux au débit nominal D, à la réception, on dé-multiplexe le signal global $N \times D$ en N canaux : la fibre transporte un multiple de N canaux ce qui est par conséquent équivalent en terme de capacité à N fibres transportant chacune un canal. Cette approche permet d'augmenter la capacité d'un réseau de manière importante sans modifier son infrastructure physique.

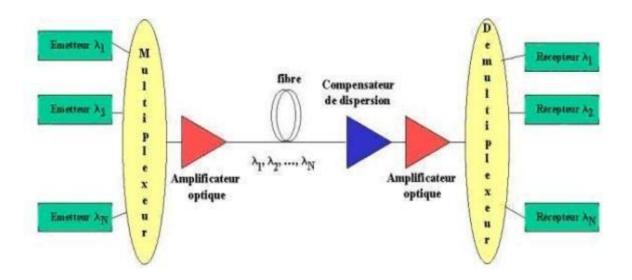


Figure 6: Principe d'une liaison WDM

Bandes de fréquence utilisées

La fibre optique de silice a son minimum d'atténuation dans la troisième fenêtre optique (autour de 1550 nm) comme le montre la figure 7, la norme de l'ITU-T G 692 (Interface optiques pour système multicanaux avec amplificateurs optiques) a défini un peigne de longueurs d'onde autorisées dans la seule fenêtre de transmission 1530-1565nm (appelée la bande C). Elle normalise l'espacement en nanomètre (nm) ou en Gigahertz (GHz) entre deux longueurs d'onde permises de la fenêtre : 200GHz ou 1,6nm, 100GHz ou 0,8 nm et 50Ghz ou 0.4nm.

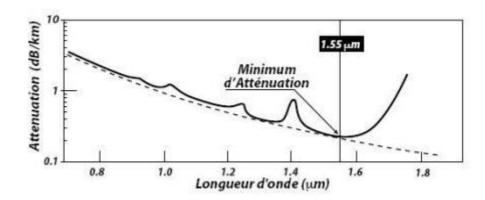


Figure 7 : L'atténuation dans la fibre de Silice

L'UIT a normalisé les bandes de fréquences (et donc les longueurs d'ondes) des fibres optiques selon le tableau suivant :

Bandes	Fréquences (Thz)	Longueurs d'onde (nm)
Bande U (Ultra)	178,980 - 184,487	1675 – 1625
Bande L (Long)	184,487 - 191,560	1625 – 1565
Bande C (Conventional)	191,560 - 195,942	1565 – 1530
Bande S (Short)	195,942 - 205,337	1530 – 1460
Bande E (Extended)	205,337 - 220,435	1460 – 1360
Bande O (Original)	220,435 - 237,930	1360 – 1260

Tableau 1 : Bandes de fréquence WDM standardisées par l'ITU-T

Différentes Technologies WDM

Il existe plusieurs technologie WDM à savoir la Broad WDM (souvent dite WDM), Coarse WDM, Dense WDM et Ultra WDM. Elles restent identiques par leur principe mais se différencient uniquement par le nombre de canaux exploités dans une fibre. La technologie WDM actuellement utilisée dans les réseaux de télécommunication se présente en deux technologie seulement : **CWDM** et **DWDM**.

Types	λ (nm)	Espacements	canaux	Débits
		(nm)		nominaux
B-WDM	1310 & 1550	0.6	32	0.32 à 1.28 THz
C-WDM	1271 - 1611	20	8 – 16	2.5 à 5 GHz
D-WDM	1530 - 1565	0.4 - 0.2	80 – 160	3 à 12 THz
U-WDM	1530 - 1565	0.08	400	10 à 40THz

Tableau 2 : Spécifications des Technologies WDM

La technologie CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing):

Les systèmes CWDM travaillent avec des canaux de longueurs d'ondes espacées de 20 nm, comparés avec 0.4 nm d'espacement pour la DWDM, ceci permet l'utilisation de laser bon marché sans module de refroidissement. Dans un système CWDM typique, les émissions laser se font sur huit longueurs d'ondes comme le montre la figure 8. Mais jusqu'à 18 différents canaux sont permis, avec des longueurs d'ondes allant jusqu'à 1270 nm.

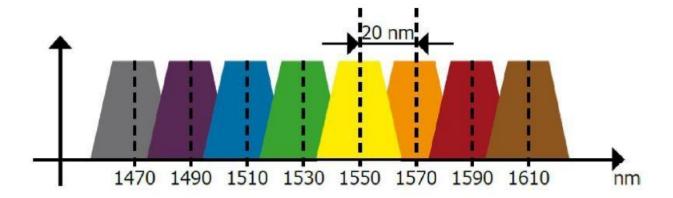


Figure 8 : Canaux CWDM

Technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing):

La DWDM est un élément crucial pour des réseaux optiques qui permettent la transmission de trafic ATM, TDM, IP et SONET/SDH sur la couche optique. La technologie WDM est dite dense WDM lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz sur la bande 1500 nm.

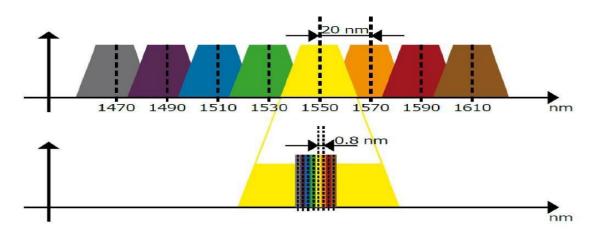


Figure 9 : Comparaison des canaux CWDM (haut) et DWDM (bas)

Des systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) permettent d'obtenir respectivement 80 et 160 canaux optiques. Sur la 3ème fenêtre spectrale des longueurs d'ondes utilisées, il est possible de booster les systèmes DWDM par des amplificateurs Raman et EDFA — de réels améliorateurs de performances pour les communications haut-débits—utilisés pour amplifier des signaux lumineux et faire face à leur atténuation sans passer par des conversions optico- électriques. Ces systèmes peuvent opérer de cette façon sur des milliers de kilomètres.

Comparaison entre la technologie CWDM et DWDM

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

Technologie	CWDM	DWDM
Espacement entre deux longueurs d'onde	20 nm	0.8 nm
Nombre de longueurs d'onde maximum	18	160
Portée	70 km	600 km et plus
Amplification	Pas d'amplification possible	Amplification via la technologie EDFA ou Raman

Tableau 3: Tableau comparatif des technologies CWDM et DWDM

Architecture de réseau WDM:

Les architectures de base des réseaux WDM sont : le point-à-point, la chaine et la boucle. D'autres architectures, plus complexes, peuvent être obtenues par combinaison de ces topologies basiques.

Point-à-point :

L'architecture point-à-point montrée dans la figure 10 est utilisée pour la transmission de services de bout en bout. Les modes d'autres réseaux sont basés sur le mode point-à-point qui est le réseau le plus de basique.

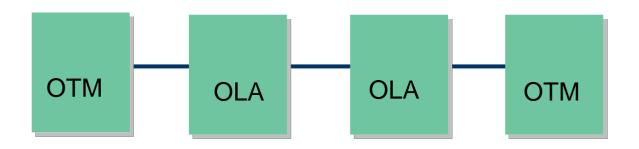


Figure 10 : Schéma d'un réseau WDM point-à-point

NB: L'architecture point à point regroupe des OLA et des OTM mais les OADM ne sont pas inclus.

Chaîne:

Le réseau de la chaîne avec OADM est la topologie appropriée quand il est nécessaire d'ajouter/ extraire certaines longueurs d'onde en laissant passer les autres.

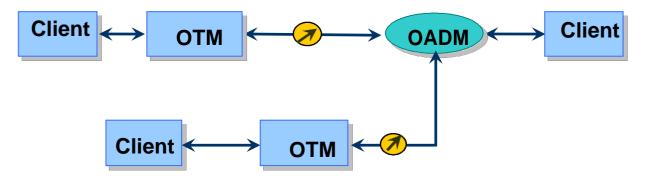


Figure 11 : Schéma d'un réseau WDM en chaine

Réseau en anneau

La sécurité et la fiabilité du réseau sont deux facteurs clés qui indiquent la qualité des services fournis par les opérateurs. En raison de son excellente capacité de survie, le réseau en anneau (Figure 12) est un mode dominant des réseaux DWDM. Il peut se diversifier dans les structures de réseaux complexes .

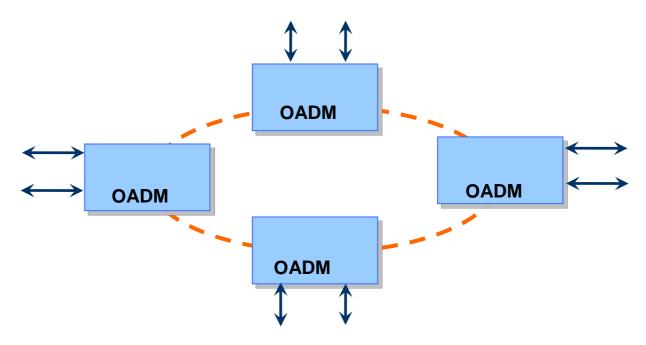


Figure 12 : Schéma d'un réseau WDM en anneau

Réseau en Boucles tangentes :

La figure suivante montre le réseau en boucles tangentes :

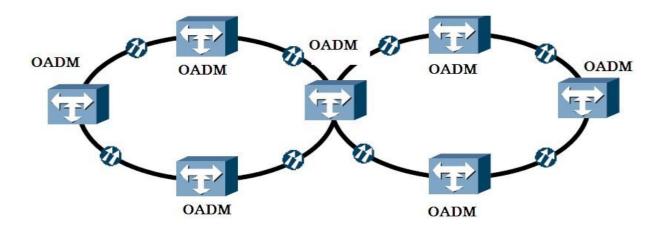


Figure 13 : Boucles tangentes

Boucle maillée :

La figure 14 présente le réseau en boucles maillée:

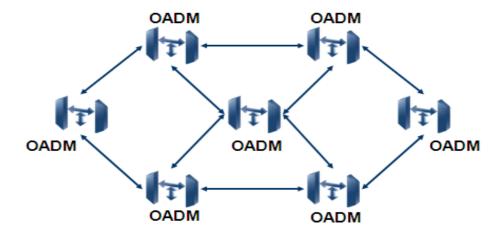


Figure 14 : Boucle maillée

Types de protection

Comme tout système de transmission, WDM utilise un système de protection pour faire face aux problèmes inattendus et éviter la coupure de trafic. Pour cela, il existe plusieurs méthodes utilisées. Je vais détailler, dans ce rapport, les plus importantes et les plus utilisées dans le réseau d'IAM.

OLP: Optical Line Protection

Cette méthode utilise le principe de réception sélective dans les deux sens comme le montre la figure 15. Le signal est envoyé sur deux chemins : « working » et « protection » mais seul le chemin « working » est sélectionné au niveau de la réception. Si un problème survient, les deux sens basculent vers la protection. Cette méthode est utilisée pour la topologie chaine, et elle est caractérisée par un temps de switch de moins de 100 ms.

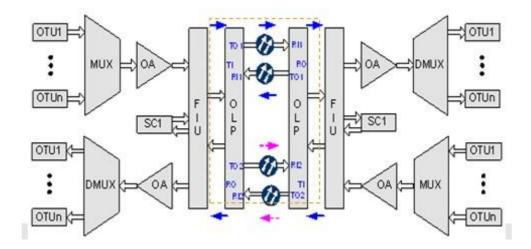


Figure 15: Optical Line Protection OLP

Inter-Broad Wavelength Protection

Cette méthode protège les cartes OTU et les services du client. Le SCS partage et couple les signaux de service et peut contrôler les OTU pour allumer ou éteindre le laser du côté du client.la figure 16 représente le fonctionnement de ce type de protection.

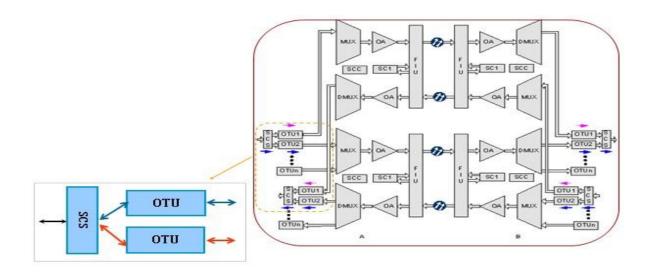


Figure 16: Inter-Broad Wavelength Protection

Les éléments de la technologie WDM

Un réseau WDM point à point peut se résumer comme suit:

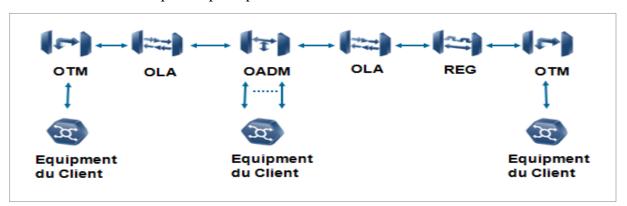


Figure 17 : Schéma général d'un réseau WDM

OTM - Optical Terminal Multiplexer:

A l'émission, l'OTM multiplexe les signaux dans un canal WDM principal via le multiplexeur M40, qui peut multiplexer 40 canaux optiques, puis amplifie la puissance optique du canal principal pour ajouter ensuite un canal optique de supervision.

A la réception, l'OTM extrait en un premier temps le canal de supervision du canal optique principal ensuite, amplifie et dé-multiplexe en des signaux en longueurs d'ondes différentes pour les distribuer à l'équipement client correspondant.

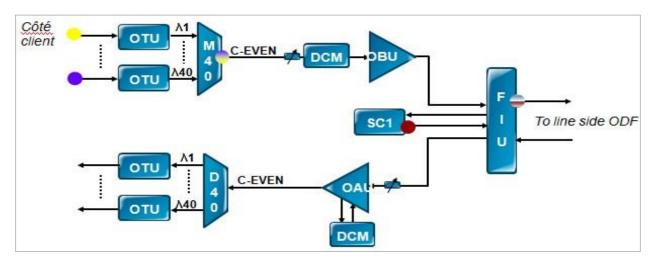


Figure 18 : Schéma graphique de l'OTM (Signal flow)

OLA - Optical Line Amplifier:

L'OLA est utilisé sur la ligne pour compenser l'atténuation du signal et sa dispersion. Du côté de réception la FIU sépare le canal principal du canal de supervision puis amplifie le signal dégradé et compense la dispersion avec le DCM. Du côté de l'émission le signal amplifié est multiplexé avec le signal de supervision via le FIU puis remis sur la fibre de transmission.

La figure 19 ci-dessous montre le schéma de l'OLA.

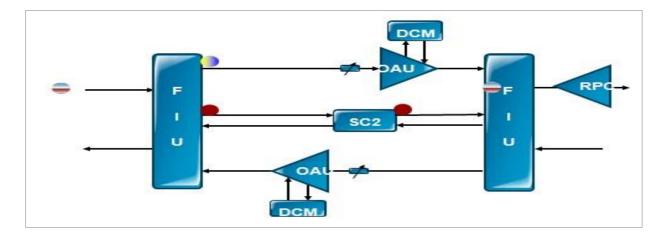


Figure 19 : Schéma graphique de l'OLA

OADM - Optical Add/Drop Multiplexing:

L'unité OADM (Optical Add/Drop Multiplexing Unit) d'un système DWDM opère en deux modes: fixe et reconfigurable. Le premier type peut à son tour être divisé en deux types : OADM parallèle et OADM série (le plus utilisé et d'ailleurs le seul existant sur le réseau marocain). Les unités fonctionnelles du FOADM (Fixe OADM) sont présentées dans la figure suivante:

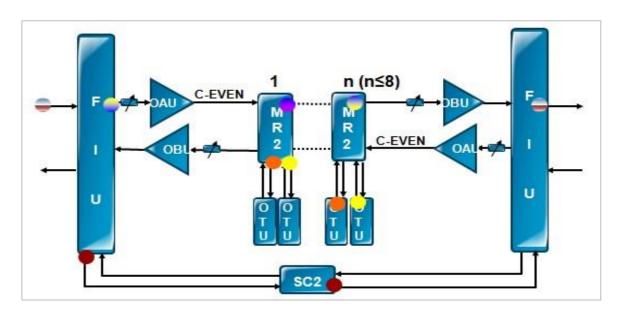


Figure 20 : Schéma bloc d'un FOADM série (signal flow)

Les services sont ajoutés et extraits via les unités MR2. Il faut noter que le signal doit être amplifié avant et après l'entrée dans les MR2.

REG - Regenerator:

Les régénérateurs électriques sont requis pour les projets adoptant des sections de régénérateurs en cascade. Cet équipement ne réalise aucune tâche *d'add/drop* comme il est simplement utilisé pour allonger la distance de transmission de dispersion limitée. La figure 21 montre le schéma graphique du REG.

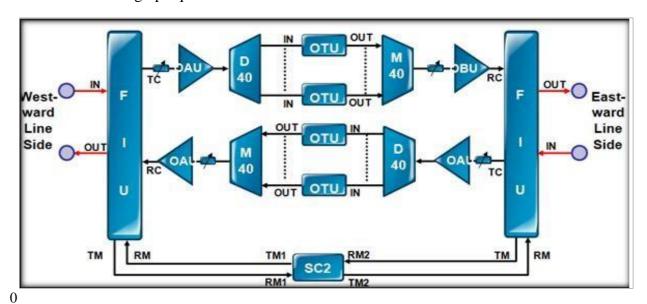


Figure 21 : Schéma graphique du REG

Modules de compensation de dispersion chromatique (DCM) :

La dispersion chromatique peut être compensée par un dispositif créant des fonctions de transfert inverse de celle d'une fibre standard (une fibre qui a une dispersion négative), comme les fibres à compensation de dispersion (DCF, Dispersion Compensative Fiber) appelé aussi (DCM Dispersion Compensating Module). La figure 22 montre comment compenser la dispersion chromatique sur la ligne. Ces modules sont placés en ligne dans les sites d'amplification et dans les amplificateurs des nœuds.

Un paramètre important associé à un module est sa perte d'insertion qui va impacter sur la conception des amplificateurs utilisés dans le réseau. Par exemple, un module de compensation destiné à un pas de 80 km de SMF induit des pertes de l'ordre de 9 dB ; cela entraine l'ajout d'un étage d'amplificateur pour compenser les pertes additionnelles.

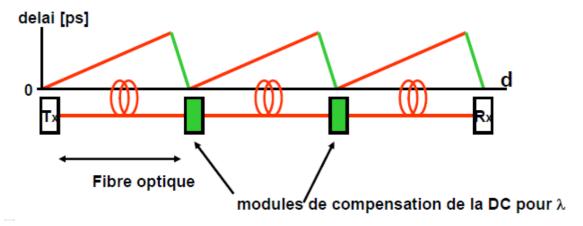


Figure 22 : Exemple d'utilisation modules de compensation

Support de transmission

Une fibre optique est un guide d'onde cylindrique, elle possède généralement une symétrie de révolution. Une fibre classique est constituée par deux couches de matériaux transparents à base de silice appelées le cœur et la gaine optique qui entoure le cœur (Figure 23).

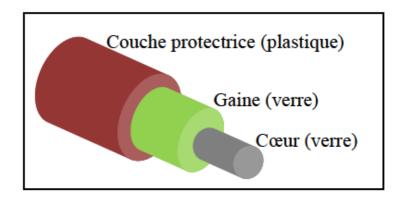


Figure 23 : Structure d'une fibre optique

- $C\alpha ur$: en silice, quartz fondu, ou plastique dans lequel se propage la lumière.
- *Gaine optique :* en général, dans les mêmes matériaux que le cœur mais avec des additifs qui emprisonnent 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.

2 Etude de la technologie NGWDM

Aujourd'hui, les opérateurs sont confrontés à un certain nombre de défis dans les réseaux de transmission due à l'explosion du trafic et à l'évolution permanente des types et des quantités de données, ce qui les poussent à chercher des nouvelles solutions. La NG-WDM a accordé une attention pour que la prochaine génération d'équipements WDM soit utilisée d'une manière beaucoup plus rentable. Cette technique est bien adaptée pour améliorer l'utilisation de la bande passante des longueurs d'onde et réduire également le coût des opérations en intégrant deux réseaux, à savoir SDH et WDM, en un seul réseau.

Le ROADM (Reconfigurable Optical Add and Drop Multiplexer)

Depuis quelques années, les systèmes de transmission optique ne sont plus uniquement des systèmes dit «point à point ». Ils forment de véritables réseaux ou aiguillages appelés ROADM (Reconfigurable Optical Add and Drop Multiplexer) ou OXC (Optical Cross Connect) permettant de diriger un signal à une longueur d'onde donnée vers un nœud. Sur l'exemple de la figure 24, la longueur d'onde λ_1 est insérée au nœud A puis extraite au nœud B tandis que la longueur d'onde λ_2 est insérée au nœud A, puis dirigée par nœud B vers le nœud C où elle est détectée.

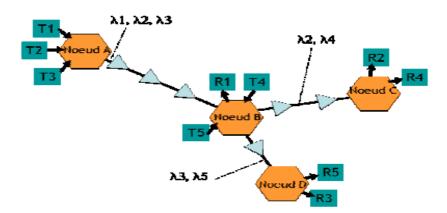


Figure 24 : Schéma d'un réseau de communication par fibre optique en utilisant les ROADM

La technologie WDM a introduit l'usage des Optical Add/Drop Multiplexer (OADM). Ces derniers utilisent des filtres fixes pour insérer et extraire des longueurs d'onde de la ligne WDM, permettant ainsi aux autres de rester dans le domaine optique. Cependant, ces filtres fixes limitent le travail à des bandes bien spécifiques, réduisent la flexibilité du service, augmentent la complexité de l'ingénierie du trafic, requièrent une planification précise, diminuent la capacité du système si les besoins varient, et surtout, impliquent une intervention humaine pour changer la configuration.

Pour contourner ces inconvénients, les systèmes WDM de nouvelle génération introduisent la technologie Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM). Ces derniers sont des équipements optiques permettant de réaffecter la capacité des réseaux en effectuant des commutations de lignes par insertion et extraction de longueurs d'onde, en temps réel. Cette opération répond à de nombreuses demandes clés des opérateurs.

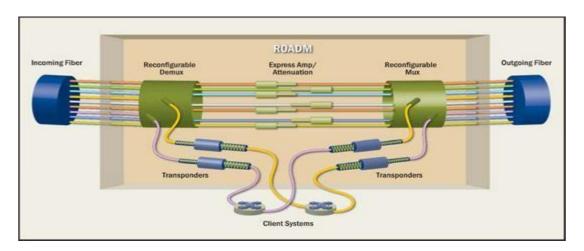


Figure 25: Schéma représentatif du ROADM

Les ROADM permettent, entre autres, d'acheminer avec précision une longueur d'onde donnée à n'importe quel nœud du réseau, de maximiser l'utilisation des longueurs d'onde de sorte à diminuer le coût de déploiement de nouvelles liaisons, et de satisfaire avec beaucoup de flexibilité les nouvelles demandes non planifiées. L'avènement des ROADM promet aux opérateurs un meilleur retour sur leurs investissements grâce à une adaptabilité accrue de leurs réseaux à la demande.

Dans un ROADM, les longueurs d'onde choisies peuvent être insérées ou extraites à l'aide d'un système de gestion centralisé dans le réseau sans avoir besoin de refaire le budget d'ingénierie ou l'entretien manuel, ce qui permet de réduire les coûts. De futures mises à niveau de débit ou de protocole peuvent être adaptées sans changement de commutateur est sans avoir besoin de se déplacer sur terrain. Toute cette opération de commutation est réalisée dans le domaine optique afin d'éviter les coûts et les limitations des conversions Optique-Electrique-Optique.

Le ROADM possède également un mécanisme d'égalisation de puissance intégrée pour réaliser l'égalisation de puissance subtile au niveau du canal. En effet, il peut ajuster le

passage aux canaux mieux qu'un égaliseur de gain dynamique (DGE pour Dynamic Gain Equalizer) ordinaire au niveau de la bande. De cette manière, les réseaux dotés de ROADMs n'ont pas besoin d'intégrer des DGEs.

Le réseau de transport OTN (Optical Transport Network)

La norme SONET/SDH a été introduite pour transporter de la parole téléphonique, et il a fallu de nombreuses adaptations pour le transport des trames et paquets de type IP, ATM ou autres. Le successeur de SONET/SDH a été mis en chantier et normalisé début 2002 par l'UIT-T sous le nom d'OTN (Optical Transport Network). Son rôle est de faire transiter des paquets sur des liaisons à 2,5, 10,40 et 100Gbit/s. La recommandation correspondante porte le numéro G.709. L'OTN est donc un nouveau mécanisme de transport qui permet de traiter pratiquement toutes les normes de communications existantes pour la voix, les données, le LAN et la vidéo. La figure 26 présente les trafics envoyés par l'OTN.

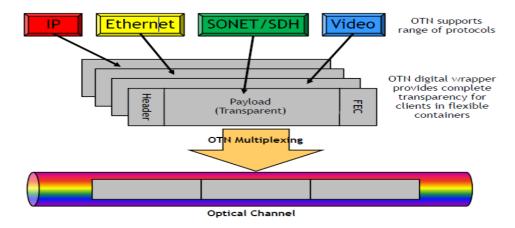


Figure 26: Présentative des trafics envoyés par l'OTN

Les entités composant l'entête de l'OTN:

L'entête OTN est composée de l'OTH - ensemble des entêtes de couches électriques OPU, ODU, OTU - et des entêtes de couches optiques (OMS, OTS) avec l'ajout d'un canal de contrôle à des fins de gestion. Les couches OTN sont les suivantes:

L'OPU (Optical Payload Unit): encapsule le signal client (SONET/SDH, paquets IP, cellules ATM, trames Ethernet ...) et effectue la justification de débits si nécessaire.

L'ODU (**Optical Channel Data Unit**) : est constituée de l'OPU et l'entête ODU. La fonctionnalité de l'entête ODU est semblable à celle du POH en SDH, Il fournit le multiplexage, le switching de protection, la surveillance du chemin de bout-en-bout, le suivi des connexions, le BIP pour la surveillance de la qualité de signal, les signaux de maintenance et les canaux de communication de données.

L'OTU (**Optical Channel Transport Unit**) est la couche la plus élevée dans le domaine électrique, sa fonction est similaire à celle du SOH en SDH et comprend le calcul de BIP, le Trail Trace ID et le FEC (Forward Error Correction).

L'Och (Optical Channel) effectue la conversion électrique-optique des signaux et module les longueurs d'onde DWDM (grille UIT-T) porteuses.

L'OMS (**Optical Multiplex Section**) multiplexe plusieurs longueurs d'onde venant des fibres portant chacune un Och. La couche OMS se réfère à la section comprise entre un multiplexeur et démultiplexeur optiques.

L'OTS (Optical Transmission Section) existe entre chacune des unités d'amplification optique sur la ligne.

Le Module de Transport Optique (OTM, *Optical Transport Module*) est généré après insertion de l'Overhead du signal OTUk. L'entête OTM comprend les OH OTS, OMS, OCh et les informations génériques de gestion. Le canal *Optical Supervisory Channel* (OSC) est utilisé pour transporter les signaux OH OTM (OOS, Optical Overhead Signal).

La trame OTN:

La figure 27 présente les composantes de la trame OTN

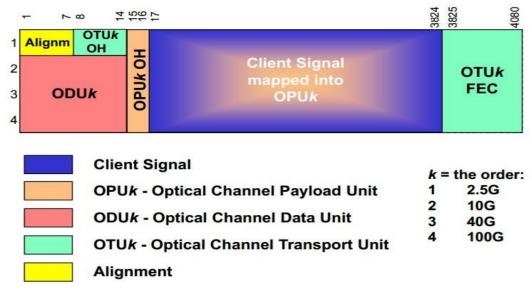


Figure 27: la trame OTN

L'ajout des fonctions OAM aux réseaux WDM est nécessaire pour la création d'une structure de trame pour encapsuler la charge utile, qui est la base des normes de l'UIT-T G.709 OTN, communément appelé « G.709 Digital Wrapper » .

La trame OTN est très semblable à une trame SONET dans sa structure et son format, elle contient trois types d'entêtes qui sont :

- L'unité de charge utile optique (OPU).
- L'unité de données optique (ODU).
- L'unité de transport optique (OTU).

Ces entêtes permettent d'offrir la surveillance du chemin, l'indication d'alarme, la communication et les capacités de commutation de protection. Une autre caractéristique est l'ajout d'un « Forward Error Correction (FEC) » pour chaque trame construite. Le FEC est le dernier champ ajouté à la trame OTU, il permet de réduire considérablement le nombre des erreurs de transmission dues aux bruits et d'autres phénomènes optiques qui se produisent à cause de la grande vitesse de transmission et les corriger en utilisant l'algorithme Reed-Solomon, ce qui permet aux fournisseurs de garantir des portées plus élevées entre les répéteurs optiques.

Procédure d'encapsulation:

Le signal client est inséré dans la zone Payload de la trame qui ajouté à une entête devient un OPU conceptuellement similaire au Path en SDH (Figure 28). Ensuite une OH d'OAM est ajouté à l'OPU pour créer l'ODU. L'OH de transport (par exemple, l'OH de verrouillage de trame) est ensuite ajouté pour créer un OTU, qui est le signal numérique entièrement formaté et fonctionnellement analogue à la régénérateur Section en SDH. L'OTU est ensuite transmis sur une longueur d'onde, ce qui constitue l'OCh.

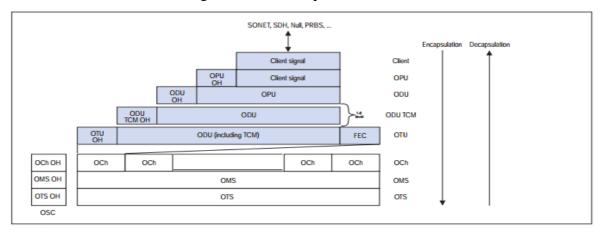


Figure 28 : procédure d'encapsulation de l'OTN

Une OMS se compose d'un groupe de canaux en longueurs d'onde multiplexées avec une longueur d'onde distincte portant une entête OSC, transporté entre les points d'accès. L'OTS (d'ordre n) se compose d'une OMS (d'ordre n) et un canal entête (sur sa propre longueur d'onde) .

L'OTS définit les paramètres optiques associés à l'interface physique. Le canal OH (OOS - Optical Overhead Signal) de l'OCh, l'OMS, et l'OTS fournit les moyens d'évaluer la qualité du canal de transmission, y compris la détection de défauts, pour cette couche.

l'objectif de l'OTN est donc de permettre le transport multiservices de voix et de données, le tout en technologie WDM accueillant une gestion non intrusive et un suivi de chaque canal optique attribué à une longueur d'onde particulière (figure-30). L'Overhead (OH) ou "wrapper /enveloppe" rendrait donc possible de gérer et de contrôler les informations de signalisation clientes.

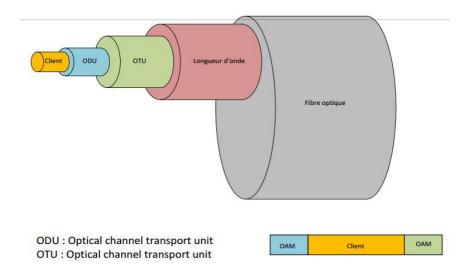


Figure 29: le transport OTN avec la technologie de multiplexage par longueurs d'onde

ASON (Automatically Switched Optical Network)

L'ASON est une nouvelle génération de réseaux de transmission optique qui doit être considérée comme un successeur au réseau OTN avec des fonctionnalités étendues. Comparé au réseau WDM traditionnel, le réseau ASON présente des avantages dans la configuration des services, l'utilisation de la bande passante et les schémas de protection. En effet, le réseau WDM classique présente un certain nombre de problèmes qui s'annoncent comme suit :

- La configuration de service est complexe et l'expansion de capacité prend une longue période.
- Un faible taux d'utilisation de bande passante et donc une faible efficacité (dans un réseau en anneau par exemple la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection).
- Une faiblesse en nombre de schémas de protection disponibles.

L'ASON a été développé afin de résoudre ces problèmes. En réalité, cette technologie prend en charge les fonctions de commutation et de signalisation ainsi qu'un plan de contrôle indépendant permettant d'effectuer une série de fonctions automatiques qui améliorent considérablement la gestion des connexions réseau et la capacité à rétablir le trafic en cas d'échec dans le réseau et prend en charge également la configuration des services de bout-enbout et le *Service Level Agreement* (SLA).

Les caractéristiques de l'ASON:

L'ASON est un réseau optique de nouvelle génération qui a les caractéristiques suivantes:

- Les clients lancent une demande de service dynamiquement.
- Les routes sont automatiquement sélectionnées.
- La signalisation contrôle la création et la suppression des connexions.
- Les connexions réseau sont automatiquement et dynamiquement terminées.
- ➤ La commutation et la transmission sont intégrées dans un seul système.

Les concepts de base liés à l'ASON sont :

- ❖ La conception en plans.
- ❖ La notion de Label Switched Path (LSP)
- **.** Le Reroutage.

Les plans de l'ASON

Selon la figure 32 ci-dessous, l'ASON possède trois plans

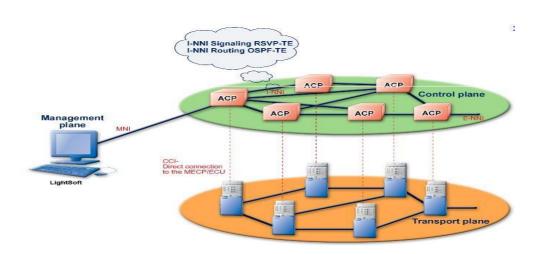


Figure 30: les trois plans de l'ASON

Plan Contrôle : Le plan de contrôle se compose d'un groupe d'entités de communication. Il fournit la fonctionnalité requise pour établir automatiquement des connexions de bout-en-bout des signaux client avec les propriétés (en termes de protections appliquées, la durée et l'ordonnancement temps de la connexion, etc.) qui sont spécifiés par le client lui-même au cours de la phase de mise en place de connexion; En outre, le Plan Contrôle est responsable de la libération, le suivi et le maintien de connexions et le rétablissement de connexions en échec à travers l'échange de signalisation .

Plan Transport : Le Plan Transport n'est autre que le réseau WDM classique qui transmet les signaux optiques, configure le brassage et le switching de protection des signaux et permet de garantir la fiabilité de tous les signaux optiques, fournissant ainsi la fonctionnalité nécessaire pour le transport dessignaux client de l'ASON.

Plan Management : Le Plan Management est un complément au Plan Contrôle. Il maintient le Plan Transport, le Plan Contrôle et l'ensemble du système, ses fonctions comprennent la gestion de performance d'incidents, de configuration et de sécurité.

Label Switched Path-LSP

Le Label Switched Path (LSP) est le chemin des services ASON. C'est une suite de références partant de la source et allant jusqu'à la destination. Les LSP sont établis avant la transmission des données. En fait, la création de services ASON revient à créer des LSP(s) parfois aussi référés par « ASON Trails».

Reroutage

Le Reroutage (Rerouting) est un moyen de rétablir les services. Lorsqu'un LSP est déconnecté, le nœud-source envoie des requêtes pour trouver la meilleure route afin de reprendre les services. Ensuite, le nœud initial (head end node) crée un nouveau LSP pour transmettre le service et après la création du nouveau LSP, il supprime le LSP d'origine .

Les protocoles utilisés par l'ASON

Le réseau optique ASON se base principalement sur les protocoles suivants :

OSPF-TE: protocole de routage, exerce les fonctions de :

- Création des relations d'adjacence.
- Création et maintien des liens de contrôle.
- Inondation et collecte des informations sur les liens de contrôle et sur le plan de contrôle.
- Inondation et collecte des informations sur les liens TE sur le plan de transport, pour le calcul des LSP de services.

LMP: protocole de gestion des liens, sa fonction est :

- La création et le maintien des canaux de commande entre les nœuds adjacents.
- La vérification des liens TE.

RSVP-TE: protocole de réservation de ressources. Il s'agit d'un RSVP-TE type de signalisation. En ce qui concerne l'ingénierie du trafic, le RSVP est étendue à RSVP-TE. Le RSVP-TE supporte:

- La création/suppression de LSP.
- La modification d'attributs d'un LSP.
- Le reroutage d'un LSP.
- L'optimisation d'un LSP.

Protection & Restauration du Réseau MESH

Le réseau optique de nouvelle génération ASON permet d'offrir une meilleure protection pour les réseaux maillés afin d'assurer la survie de service et la sécurité du réseau. Etant la fonction principale d'un réseau ASON, la topologie MESH présente une flexibilité et une évolutivité élevées. Comparé au réseau WDM traditionnel, ce mode offre plus d'une voie de récupération pour chacun des services afin de pouvoir mieux utiliser les ressources réseau et améliorer la sécurité. Comme le montre la figure 33, lorsque le lien C-G échoue, le réseau calcule un chemin à partir de D vers H et crée un nouveau LSP afin de transmettre le service .

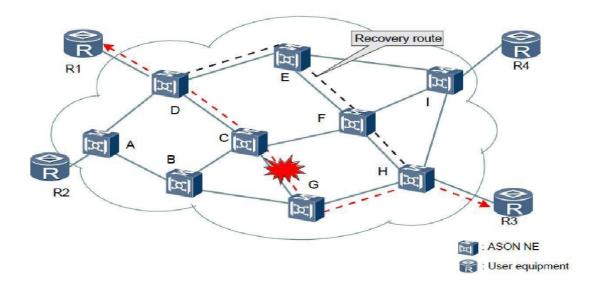


Figure 31: Restauration du trail

Protection dans un réseau ASON

En général, la protection implique une ressource pré-allouée entre les NEs et ne porte que sur les NEs et n'implique pas le système de gestion. Les systèmes de protection traditionnels peuvent encore être mis en œuvre dans un réseau ASON. Quand une erreur se produit, la protection switching est exécutée par le plan de transport dans un délai court ne dépassant pas généralement 50ms, et une simple commutation sur le lien ou le chemin pré-alloué sera effectuée. Dans ce cas, la protection switching n'implique pas le plan de contrôle.

Restauration dans un réseau ASON

La restauration est destinée à réagir quasi immédiatement à une coupure. Elle permet d'utiliser la bande passante de manière plus optimisée. La restauration ne se déclenche qu'au moment de la coupure contrairement à la protection.

Quand un LSP échoue, le noeud-source calcule le meilleur chemin pour la restauration du service puis utilise la signalisation pour en créer un autre. Par la suite, le nouveau LSP transporte le service.

Les avantages de reroutage sont comme suit :

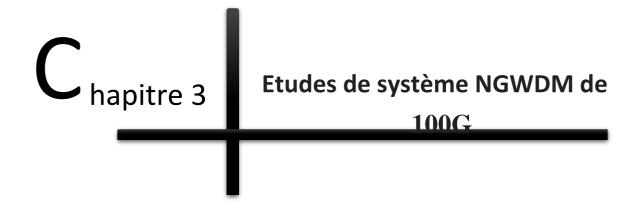
- Les services peuvent être restaurés d'une manière automatique et rapide.
- Après mise en place d'une technologie de restauration de service, moins de capacité allouée est nécessaire lors d'une restauration temps réel du réseau ASON. L'utilisation de la bande passante est considérablement augmentée.

En général, si un réseau comporte plus de nœuds, les routes sont plus compliquées et moins de ressources sont nécessaires.De manière globale, l'ensemble des procédures de création, maintien, restauration et suppression de LSP est effectué grâce aux protocoles LMP, OSPF-TE et RSVP-TE.

Conclusion

Dans ce chapitre, j'ai présenté le principe de fonctionnement des réseaux NGWDM ainsi que son antécédent WDM. Ces technologies sont déjà à l'œuvre aujourd'hui au cœur des équipements OSN de Huawei et l'ASON a été déployé sur les réseaux de plusieurs opérateurs dans le monde entier avec de réels avantages économiques et financiers.

Dans le chapitre suivant je vais entamer la partie d'étude générale sur les systèmes de 100G et les technologies mise en œuvre notamment concernant les formats de modulations et la détection cohérente.



Introduction

La raison principale pour laquelle de nombreux travaux portent sur l'amélioration des performances que peuvent atteindre les systèmes de transmission optique est que la demande en capacité est attendue en croissance continue au cours des prochaines années.

Il importe donc de concevoir des systèmes capables de répondre à cette demande. Tout d'abord, il est envisageable de déployer directement des systèmes d'une génération nouvelle, dont la capacité maximale est significativement supérieure à la demande du moment. Mais cela implique aussi qu'ils seront utilisés largement en sous-capacité pendant une certaine période.

Une autre méthode, moins coûteuse, consiste à utiliser tels quels les systèmes opérationnels déployés aujourd'hui, et à modifier uniquement leurs émetteurs et leurs récepteurs pour améliorer les performances dans la mesure des possibilités offertes par cette méthode. Cela permet de faire toujours fonctionner le système à sa capacité maximale, sans qu'il n'entre toutefois en saturation.

L'objectif de ce chapitre est de décrire et d'étudier les techniques d'augmentation progressive de la capacité d'un système de transmission optique, en procédant notamment à la multiplication du débit de chaque canal par un facteur 4 et 10 respectivement, passant ainsi de 10 Gbit/s à 40 Gbit/s voire 100Gbit/s. Pour cela il est nécessaire de déterminer et d'étudier les formats de modulation qui pourraient être compatibles avec une telle augmentation progressive de capacité.

1-La détection cohérente

1-1 Contexte de détection cohérente

Les pré-requis de service: Une large bande passante de transmission est nécessaire, puisque, les ports 100GE sont déployés à une grande échelle.

Limite de la dispersion: Habituellement, les systèmes traditionnels de communication de 40G utilisent l'IM-DD (comme ODB) et les formats de modulations par déplacement de phase différentielle (comme DPSK and DQPSK). Néanmoins, ce type de modulation dans les communications 100G présente les limites suivantes :

1- Une faible tolérance en dispersion chromatique:

Pour qu'un signal optique se propage à l'intérieur d'une fibre, la tolérance en CD doit être inversement proportionnelle à sa largeur spectrale et proportionnelle à sa largeur d'impulsion. Lorsque le débit du signal de transmission optique quadruple, la largeur spectrale du signal optique est également quadruplée, tandis que la largeur d'impulsion diminue de 1/4. En tant que tel, la tolérance en CD diminue de 1/16 de la valeur précédente avant que la vitesse de transmission soit augmentée. Pour un signal non cohérent 40G, la tolérance CD est d'environ 60 ps / nm, ce qui est très faible par rapport à la valeur qu'un module TDC approprié doit être utilisé au niveau du récepteur pour ajuster le CD résiduel.

2- Une faible tolérance en PMD:

Lorsque le rythme du signal optique est multiplié par quatre, la période de bits et par conséquent, la tolérance PMD diminue de 1/4 de la valeur précédente avant que la vitesse de transmission soit augmentée. En situation normale, la tolérance PMD d'un signal DQPSK 40G est d'environ $6 \sim 8$ ps. Lorsque le taux de données augmente à 100G, la tolérance PMD diminue de plus de 50% et ne peut pas supporter la transmission à longue distance sans régénération électrique. Par conséquent, dans un système de transmission 100G, la tolérance PMD est très essentielle.

Technologies mises en œuvre

La figure 32 montre les différentes technologies nécessaires pour une transmission cohérente.

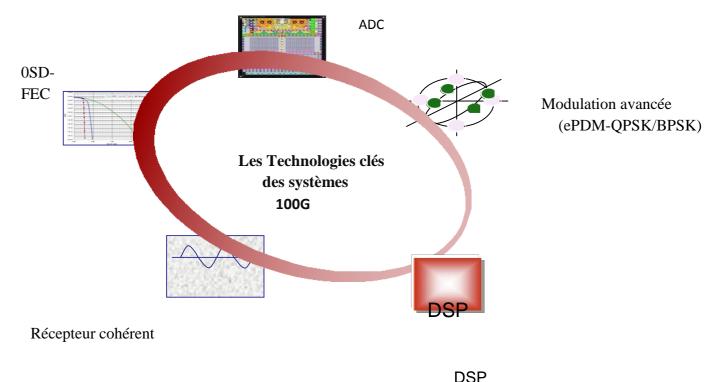


Figure 32 : Les technologies clés des systèmes 100G

- Le format de modulation avancé réduit la vitesse de transmission.
- Un récepteur cohérent peut théoriquement augmenter l'OSNR de 3 dB.
- L'algorithme **FEC** haute performance augmente la marge de OSNR et peut fournir une correction d'erreur pour garantir un taux d'erreur binaire BER de 4E-3.
- La technique **DSP** a une meilleure capacité de compensation de CD et PMD.
- **ADC** haut débit est la technologie de base et peut être fourni que par quelques vendeurs à l'heure actuelle.

Format de modulation

Pour répondre à l'accroissement de capacité totale de transmission sur une fibre optique, deux solutions peuvent être envisagées : Soit garder le débit par canal constant et augmenter le nombre de canaux WDM, soit garder le nombre de canaux WDM constant et augmenter le débit par canal.

Un signal modulé en phase sur 4 niveaux est appelé QPSK pour Quadrature Phase Shift Keying. La figure 33 compare les variations temporelles de leurs champs électriques avec celles d'un format OOK-NRZ. Elle donne aussi leur diagramme de constellation et une représentation schématique de leurs spectres. Le signal QPSK est représenté avec un débit symbole B moitié de celui des autres formats (BPSK et NRZ), car chaque symbole permet d'encoder 2 bits. Les symboles $\langle \pi/4 \rangle$, $\langle 3\pi/4 \rangle$, $\langle -\pi/4 \rangle$ et $\langle -3\pi/4 \rangle$ codent les doublets $\langle 00 \rangle$, $\langle 01 \rangle$, $\langle 11 \rangle$, $\langle 10 \rangle$.

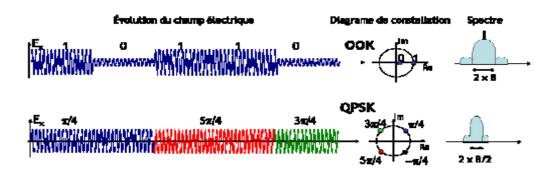


Figure 33 : Représentation du champ électrique en fonction du temps pour les formats QPSK et OOK et du diagramme de constellation et du spectre.

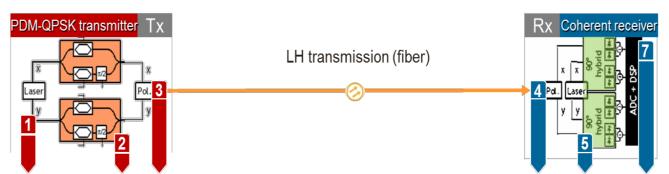
Pour aller loin encore dans la capacité de codage sur chaque symbole du signal optique, il est possible d'utiliser les deux polarisations qui se propagent sur une fibre monomode. Ce multiplexage en polarisation, permet de doubler la quantité d'information transmise dans une bande optique donnée. Par analogie avec le multiplexage temporel (TDM) et le multiplexage en longueur d'onde (WDM), le multiplexage en polarisation est appelé PDM (Polarisation Division Multiplexing).

Technique de traitement numérique du signal DSP à détection cohérente:

L'augmentation du débit à 100Gb/s rend les signaux de plus en plus sensibles aux distorsions introduites par la fibre optique. Voila pourquoi il devient indispensable d'améliorer l'efficacité des méthodes de compensation de ces distorsions, notamment la dispersion de mode de polarisation PMD.

La transmission de signaux hauts débits (100 Gbits/s) sur les infrastructures de fibres ayant des PMD élevées (jusqu'à 20ps) paraissaient irréalisables avant l'association d'une détection cohérente et d'un traitement numérique du signal. En effet la détection cohérente utilise un laser ayant une puissance optique plus élevée que celle du signal optique entrant, contrairement à la démodulation directe ou la démodulation différentielle. La détection cohérente peut améliorer les performances de l'OSNR, particulièrement dans l'utilisation de DSP pour traiter les signaux de polarisation multiplexés, restructurer les signaux, et récupérer les propriétés des signaux propagés (mode de polarisation, amplitude et phase). Par conséquent, la détection cohérente élimine considérablement les dégradations de transmission causées par des fibres et permet une PMD aussi élevé que 30 Ps et plusieurs DC de 10 s / nm sans utiliser des DCMs sur les lignes de fibres.

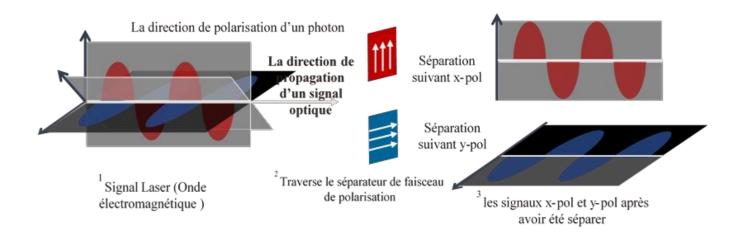
La capacité extraordinaire de la détection cohérente à compenser la PMD permet maintenant d'envisager le déploiement d'équipements à 100Gb/s, y compris sur des liaisons à très fortes PMD.



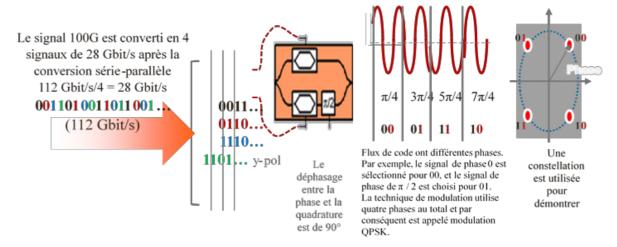
La figure 34 regroupe les différentes étapes de la détection cohérente :

Figure 34 : Module de transmission de la technologie « détection cohérente »

Etape N°1 : Le séparateur de faisceau de polarisation divise la lumière laser dans deux directions de polarisation (x--pol et y-pol) l'une perpendiculaires à l'autre.

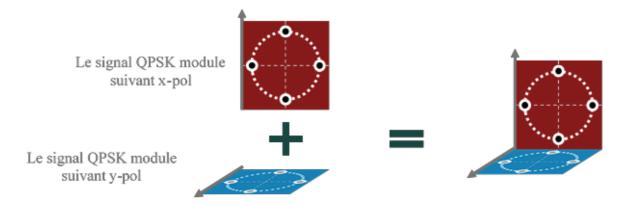


Etape N° 2 : La modulation QPSK se performe pour le signal optique sur l'axe des x-pol et y-pol.

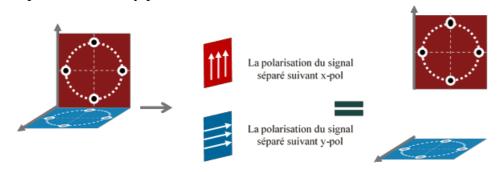


La technologie de modulation PDM-QPSK est la plus largement utilisée comme une solution pour la transmission de 100 Gbits par ligne. Cette technologie permet la réception cohérente et utilise une modulation numérique et de traitement numérique de signal (DSP) pour compenser la dispersion chromatique (CD) et la dispersion de mode de polarisation (PMD).

Etape N° 3 : Le combineur de faisceaux de polarisation (PBC) combine le signal modulé sur la x-pol et celui sur la y-pol dans la même fibre.

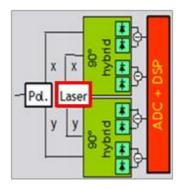


Etape N° 4 : A l'extrémité de réception, la lumière de signal reçu est divisée en deux. L'un est affecté à la x- pol et l'autre à la y-pol.



Etape N° 5: Un récepteur cohérent inclut un oscillateur local constitué, dans le cas d'un récepteur optique, d'un laser continu de longueur d'onde proche de celle du signal à détecter.

Le récepteur comporte deux sous-ensembles :



Le premier est constitué de composants optiques et optoélectroniques jusqu'aux convertisseurs analogique-numériques (ADC pour Analog to Digital Converter). Le second est un processeur (DSP pour Digital Signal Processor) qui exécute le traitement numérique du signal[11] comme le montre en détail la figure 35.

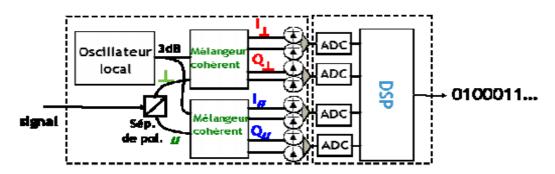


Figure 35 : Représentation schématique d'un récepteur cohérent

La première partie du récepteur cohérent est constituée d'une structure à diversité (ou séparation) de polarisation : les deux composantes de polarisation du signal sont séparées par un séparateur de polarisation (PBS pour Polarization Beam Splitter). Chacune d'elles interfère ensuite dans un mélangeur cohérent avec une onde de même polarisation provenant de l'oscillateur local (LO). Le résultat des interférences entre signal et oscillateur local est détecté par 4 photodiodes (ou 4 photodiodes équilibrées), connectées chacune à un convertisseur analogique-numérique.

Le mélangeur cohérent garantit la détection des termes « en phase » et « en quadrature » des interférences.

Etape N° 6: La haute précision de ADC convertit les signaux de courant / tension en code numérique. En effet les solutions cohérentes 100G de Huawei utilisent des modules ADC haute performance qui assurent un échantillonnage aussi précis que l'échantillon 56G / s. Par conséquent, des solutions cohérentes 100G de Huawei charge la transmission de services 100G sur une seule longueur d'onde (la bande passante d'échantillonnage doit être> = $2 \times 1000 \times$

Etape N° 7 : La technique de traitement numérique haute vitesse DSP élimine la dispersion, le bruit, les effets non linéaires et récupère les signaux 100G de l'émetteur.En règle générale, les appareils commerciaux de différents fournisseurs peuvent fournir les mêmes performances parce qu'ils sont conformes à la même norme. La performance dépend donc de la septième procédure (DSP) car les différents fournisseurs utilisent leurs propres algorithmes.

2-Critère de qualité d'une transmission 100G par fibre optique

Quand il s'agit de transmission à haute vitesse, en particulier lors de la transmission à **100G**, il est impératif d'évaluer la qualité des fibres. L'un des principaux objectifs de tout réseau de communications est de conserver la qualité et l'intégrité de la transmission du signal optique.

Le taux d'erreur binaire (BER pour Bit Error Rate)

La qualité d'une transmission numérique est, en principe, simple à évaluer : il s'agit de comparer la séquence binaire détectée à celle envoyée et de compter le nombre d'erreurs.

Un bon système de télécommunication requiert moins d'une erreur tous les 10¹⁵ bits. Les codes correcteurs d'erreurs (FEC pour Forward Error Correction) facilitent en fait de façon considérable, l'obtention de telles performances.

FEC est une technologie de codage largement utilisé dans les systèmes de communication. L'utilisation d'un code bloc classique à titre d'exemple, le codeur FEC à l'extrémité d'émission utilise un kilo bits d'information en tant que code bloc. Lors de l'encodage, FEC ajoute n-k bits de contrôle de redondance aux bits d'information, la construction d'un mot de code de n bits. Après que le mot de code est transmis à l'extrémité de réception sur un canal, le décodeur FEC détecte et corrige des erreurs de bit pendant le décodage si les erreurs sont dans la plage de correction. De cette manière, FEC évite les interférences de transmission de canal et améliore la fiabilité d'un système de communication optique. Cela montre que la FEC peut efficacement réduire le BER du système avec seulement un petit nombre de bits redondants généraux, étendant ainsi la distance de transmission et réduisant les coûts du système.

La figure ci-dessous montre l'application de FEC dans la communication optique

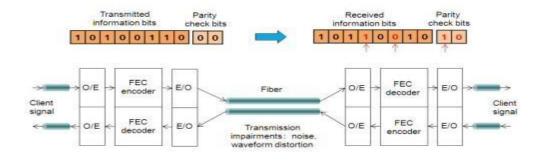


Figure 36 : L'encodage et décodage par FEC

L'évolution de FEC a passé par trois générations :

Les différents types de FEC utilisés dans la communication de la fibre peuvent être classés en trois générations, en fonction de leur histoire du développement selon le diagramme de la Figure 37.

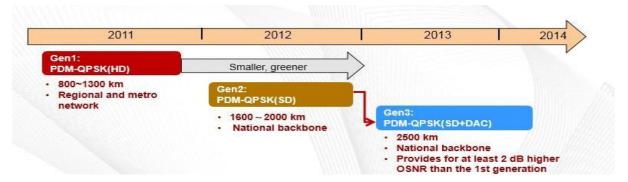


Figure 37: Le diagramme d'évolution de la technologie FEC pour les systèmes 100G

Le codage FEC peut être effectué avec l'une des deux méthodes de décision: "la décision stricte" et "la décision souple".

a) Le FEC à décision stricte (HD-FEC)

Les codes correcteurs d'erreurs FEC à décision stricte (codée en dur),utilisant des zéros et des uns pour déterminer les corrections à apporter. Basés sur une redondance des données, ajoutent un « sur - débit » typique de 7%. C'est ainsi qu'un système à 100Gbit/s transmet un signal à 107Gbit/s. Ces codes correcteurs d'erreurs se sont généralisés dans les transmissions optiques y a de cela une dizaine d'année, notamment lors de la transition des systèmes WDM fonctionnant au débit de 2.5/s vers le débit de 10Gb/s par canal. Les taux d'erreurs les plus élevés acceptables avant le décodage sont actuellement de 1'ordre de 4.10 -3 (pour obtenir 10-15 ensuite).

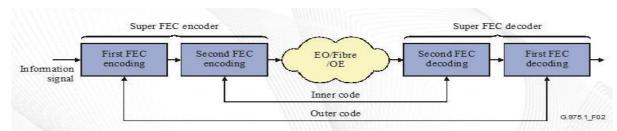


Figure 38 :L'encodeur/décodeur FEC à décision strict

b) Le FEC à décision souple (SD-FEC)

Différent du décodeur HD-FEC, le décodeur SD-FEC de la Figure 39.reçoit des informations supplémentaires (pour chaque bit d'information on correspond 4 bits pour la correction d'erreur) de manière à indiquer la fiabilité de la décision. Les échantillons sont donc classés comme «bit 0 fort», un «bit 0 faible», un «bit 1 faible» ou un «forte 1».

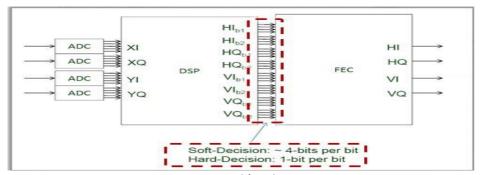


Figure 39 : Le décodeur SD FEC

Le FEC à décision souple s'appuie à la fois sur des probabilités et l'intelligence du récepteur. Cela améliore considérablement les performances du système, ce qui permet de prendre en charge des capacités plus élevées (avec la portée qui convient), de tolérer des pertes de portée plus élevées ou bien d'obtenir une amélioration notable de la portée. La FEC à décision souple peut également être ajustée de manière à minimiser les délais de transit, en échange d'une augmentation du gain du système, et fournir ainsi des performances optimales dans les applications sensibles aux délais de transit.

Par rapport à la décision stricte HD FEC qui offre un sur débit de 7%, la décision souple SD FEC offre un sur débit de 20%.

Le schéma de la Figure 40 montre le NCG qui mesure la capacité de correction de FEC en fonction du sur débit « Overhead ».

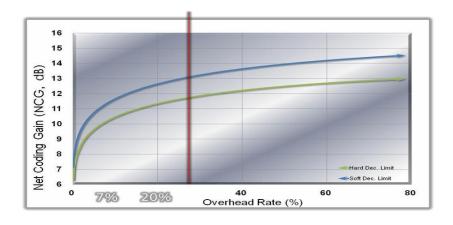


Figure 40: Le NCG en fonction de sur débit

Comparé au sur débit 7% ajouté en HD-FEC, un sur débit FEC de 20% réduit l'OSNR nécessaire dans un système 100G à 2,7 dB comme le montre le tableau 4 ci-dessous :

Theoretical NCG of HD-FEC and SD-FEC			
Overhead Rate	HD-FEC	SD-FEC	Difference Between HD-EFC NCG and SD-FEC NCG
7%	10.0 dB	11.2 dB	1.2 dB
15%	11.0 dB	12.2 dB	1.2 dB
20%	11.4 dB	12.7 dB	1.3 dB
25%	11.6 dB	13.0 dB	1.4 dB
50%	12.5 dB	14.0 dB	1.5 dB

Tableau 4 : Comparaison entre HD-FEC et SD-FEC au niveau de surdébit

Rapport signal à bruit OSNR

Le rapport signal à bruit optique (OSNR en anglais), généralement exprimé en dB et défini dans une bande de bruit de 0.1nm est un paramètre essentiel dans la conception d'un système optique.

On souhaite séparer les dégradations dues à différents effets de propagation (dispersion chromatique, PMD, effets de filtrage optiques, effets non linéaires), de celle liées à l'impact du rapport signal à bruit. Pour cela, on étudie tout d'abord l'émetteur et le récepteur, sans ligne de transmission, c'est- à-dire en les mettant « dos à dos » (Back to Back). En dégradant uniquement le rapport signal à bruit, on étudie ensuite l'évolution du taux d'erreur binaire en fonction de l'OSNR

Quand il faut 1dB d'OSNR de plus après la transmission pour obtenir le même taux d'erreur que dans une transmission « dos à dos », on parle de « pénalité en OSNR » de 1dB.

Lorsque le débit de transmission augmente d'un facteur 10, le rapport signal à bruit nécessaire pour conserver le même taux d'erreur en « back to back » augmente lui aussi d'un facteur de 10.Cependant les méthodes indiquées précédemment pour faciliter le passage des débits de 100Gb/s par canal seront notamment utilisées pour améliorer la sensibilité OSNR.

2-2 -1 Le teste de l'OSNR par la fonction OD

Pour les méthodes de teste de OSNR, nous pouvons utiliser la fonction de docteur optique (DO). Le Docteur optique détecte l'OSNR par la détection de la puissance de signal optique et la puissance de bruit après la modélisation des amplificateurs optiques et des fibres optiques. Il prend en charge la détection en ligne d'OSNR sur les longueurs d'ondes de 10 Gbit / s, 40 Gbit/ s, ou 100 Gbit /s. Le docteur optique s'applique à divers scénarios dans lesquels des différents débits, les types de codes, et des espacements de canaux sont utilisés [8].

Les capacités de la fonction OD:

Elle pend la détection des signaux de 10G, 40G et 100G et le signal de détection qui n'est pas lié au format de modulation [8].

Elle détecte la puissance et l'OSNR de chaque longueur d'onde au point rouge dans la figure 41.

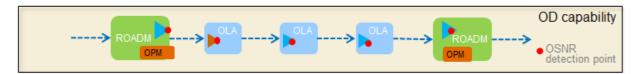


Figure 41 : La capacité de la fonction OD

Conclusion

Afin de permettre aux opérateurs télécoms d'améliorer la capacité de leur système, HUAWEI a déployé une solution de 100 G cohérente, avec une capacité de bande passante allant jusqu'à 8 Tbit/s sur une seule fibre. Cette solution peut également aider les opérateurs pour mettre à niveau les réseaux déjà existant d'une manière qui optimise le CAPEX et qui protège les investissements existants.

Vu l'importance technique et économique de cette solution, Maroc Telecom avait décidé de déployer des liaisons purement 100G au niveau des nouvelles boucles. Le prochain chapitre présente les étapes de planification des liaisons 100 G au niveau d'une nouvelle boucle sur la ville de Fès.



Etude et dimensionnement d'une boucle NGWDM 100G sur le réseau d'IAM

Introduction:

La NG-WDM fut un grand succès là où elle a été déployée. Dans ce sens Maroc Telecom décida d'implémenter son propre réseau afin de répondre aux attentes de sa clientèle. Ainsi, de nombreuses boucles NG-WDM ont déjà été déployées sur plusieurs régions du royaume, telles que la boucle Nord reliant le tronçon Rabat-Tanger, celle reliant Casablanca-Rabat ou encore la boucle de Oujda-Nador.

Le seul fournisseur à proposer des solutions 100G dé- ployables dans les domaines IP et optique est Huawei, il occupe ainsi une position de leader dans le secteur. Non seulement la technologie cohérente 100G de nouvelle génération constitue une solution innovante et économiquement viable en termes de routage IP, mais aussi elle permet grâce à sa puissance (100GE) le déploiement de services sur les réseaux métropolitains aussi bien que sur les périphéries et les cœurs des réseaux.

Pour l'implémentation de la nouvelle génération WDM, Huawei technologies propose plusieurs produits : **L'OptiX OSN 3800**, **l'OptiX OSN 6800 et l'OptiX OSN 8800**.Comme la tendance est la convergence vers le cœur tout IP, ces produits, de la famille **OptiX**, offrent des possibilités de traitement et de transport de plusieurs types de données tels que les trames SDH, OTN et GE [9].

L'OptiX OSN 3800, l'OptiX OSN 6800 et l'OptiX OSN 8800 sont des équipements de la plateforme intelligente de la nouvelle génération de transport optique. Ils supportent les topologies de réseaux point-à-point, chaine, boucle et maille.

Au fil de ce chapitre, nous présentons **l'OptiX OSN 8800** la plus déployée au Maroc [2], et nous allons proposer une solution pure 100G au niveau d'une boucle NGWDM sur la ville de Fès pour l'opérateur Maroc Telecom.

1-Solution HUAWEI Optix OSN 8800

Le commutateur de services photonique **OSN 8800** offre un haut débit de grande capacité et longue portée avec une fiabilité à faible coût. **L'OptiX OSN 8800** permet des solutions intégrées pour les réseaux backbone, réseaux d'infrastructure métropolitaine, et réseaux métropolitaines agrégatives. Il est conçu en conformité avec les présentes conditions et le développement futur des réseaux optiques, il permet une configuration souple et une bonne compatibilité hérités de la série Photonique

L'OptiX OSN 8800 est une nouvelle génération de WDM de HUAWEI, fournissant une large capacité et permettant de couvrir une longue distance de transmission optique dans le réseau dorsal, il hérite une configuration flexible et une bonne compatibilité avec les séries OptiX, ça permet aux opérateurs de développer facilement leurs réseaux optiques selon les besoins grâce à son système modulaire conçu par Huawei, en effet L'OSN 8800 permet aux opérateurs télécom en cas de besoin de procéder rapidement à des extensions de leur bande passante, il suffit d'ajouter des cartes dans les subracks déjà existants ou bien d'insérer des nœuds sans aucune influence sur le fonctionnement du réseau déja existant.

C'est un équipement flexible, qui peut occuper toutes les fonctions possibles dans une

liaison DWDM, Cette flexibilité de **l'Optix OSN 8800** vient du faite que chaque fonctionnalité est prise en charge par un type de carte. On trouve les OTUs (Optical Transponder Unit), qui se charge de la conversion en longueur d'onde utilisées en DWDM selon les recommandations d'ITU-T, on trouve aussi les multiplexeurs/démultiplexeurs, les amplificateurs (EDFA/RAMAN) ainsi que les cartes qui se chargent de la supervision et la synchronisation.

Concernant la partie hard, **l'OptiX OSN 8800** dispose de différentes structures telles que les cabinets, les subracks, les DCM, et les bobinages de fibre et de cartes.

Actuellement, **l'OptiX OSN 8800** peut multiplexer jusqu'à 80 canaux de service dans une seule fibre. Autrement dit, il peut transmettre des signaux porteurs de 80 longueurs d'onde différentes chaque longueurs d'onde peut soutenir au max un débit de 100 Gbit /s [10].

On distingue tois types **d'OptiX OSN 8800** : T16, T 32, T 64 comme le montre la figure suivante :



Figure 42 : OptiX OSN 8800

2- Planification de la solution 100G au niveau de la boucle NG-WDM de Fès (MW10.1).

2-1 Présentation de la boucle

La boucle sur laquelle nous avons travaillé est définit par Maroc Telecom comme suit:

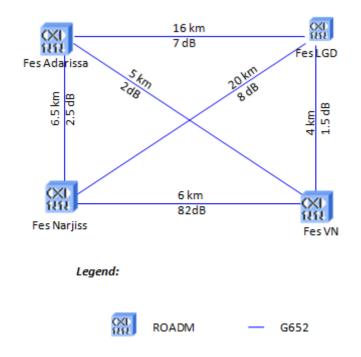


Figure 43: la boucle MW10.1

Le tableau 5 présente la distance et l'atténuation entre les sites de la boucle.

Tronçon	Longueur	Affaiblissement
	(km)	(dB)
Fès LGD-Fès VN	4	1.5
Fès VN-Fès Narjis	6	2
Fès VN- Fès Adrissa	5	2
Fès Narjis-Fès Adarissa	6.5	2.5
Fès Narjis-Fès LGD	20	8
Fès Adarissa-Fès LGD	16	7

Tableau 5 : distances entres les sites et atténuations

les éléments de la boucle sont présenté dans le tableau 6

Station	Fès LGD	Fès VN	Fès Narjis	Fès Adrissa
Type	ROADM	ROADM	ROADM	ROADM

Tableau 6: types de stations

Notre tâche consiste à dimensionner la boucle NG-WDM de la ville de Fès, et à planifier les cartes à insérer au niveau de chaque site. Il faut planifier également les longueurs d'onde pour chaque lien. Les exigences à prendre en compte en termes de longueurs d'ondes sont fournies par Maroc Telecom sous forme de matrice de trafic :

	Fès LGD	Fès VN	Fès Narjiss	Fès Adarissa
Fès LGD		1 x 10G 2 x 10GE 2 x 10GE 1 x 8GE		2 x 10GE 1 x 8 GE
Fès VN			2 x 10GE 1 x 8GE	4 x 10GE 1 x 8GE
Fès Narjiss				
Fès Adarissa				

Tableau 7: Matrice de trafic NG-WDM de la boucle MW10.1.

2-2 Dimensionnement de la boucle

Tout projet de dimensionnement de nouveau réseau NG-WDM suit une démarche bien définie afin de mener à bien chaque opération. Ainsi, nous allons détailler les étapes suivies pour dimensionner notre boucle.

Etape 1: Collecte des informations

En général, c'est la phase de documentation sur le projet. Ces informations sont présentées dans le cahier de charge remis par Maroc Telecom, à savoir: Nombre et emplacements réels des stations, distance de transmission entre stations, services, type de fibre, atténuation de la ligne ... etc

Etape 2 : Planification de cartes cohérentes

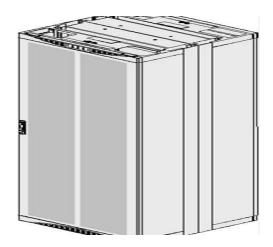


Figure 44: La structure du Cabinet N63B

Le **N63B** est un cabinet avec 600 mm de largeur, 300 mm de profondeur et 2200 mm de hauteur, il pèse 60 kilogrammes, où on peut installer les "subrack" de l'OptiX OSN 8800 **T32**, OptiX OSN 8800 **T16** et celui de l'OptiX OSN 6800. Ce type de cabinet prend en charge plusieurs configurations selon le nombre de subracks et les frames par exemple dans un tel cabinet on peut installer:

- -1 x OptiX OSN 8800 T32+ 2 x OptiX OSN 6800 + 2 x DCM frame.
- -4 x OptiX OSN 6800 + 1 x DCM frame.

Nous avons besoin d'insérer dans ces cabinets des différents types de cartes cohérentes utilisant des technologies avancées telles que la PDM-QPSK, la PDM-BPSK et la détection cohérente afin d'assurer les types de service demandé par le client. Cependant le choix de ces cartes n'est pas au hasard, en effet, on choisit les cartes qui peuvent être prise en charge par les « subracks » d'OptiX OSN 8800 [10] , les cartes qui supportent les services exigés par Maroc Telecom et ceux qui sont disponibles dans le stock.

On distingue ainsi:

- ✓ les cartes tributaires;
- ✓ les cartes de lignes;
- ✓ les cartes de brassages;
- ✓ les cartes de commutations:
- ✓ les unitées de multiplexages/démultiplexages;
- ✓ les unitées d'interface de fibre.

Afin de proposer une solution en répense à l'apelle d'offre de notre client, nous avons opté pour les cartes présentées ci-dessous :

Les cartes tributaires : TTX,TDX et THA

TTX est une carte tributaire qui :

- Supporte les services 10 x 10GE LAN/10GE WAN/STM-64/OC-192/ OTU2/
- OTU2e <-> 10 x ODU2/ODU2;
- Supporte HD-FEC et SD-FEC;
- Prend en charge le mode de relais lorsque aucun module du côté client n'est installé pour régénérer le signal de la longueur d'onde 100G;
- Occupe un seul emplacement dans le « subrack » ;
- Admet comme support les « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32 et d'optiX OSN 8800 T16 ;
- A pour version fonctionnelle disponibles la TN54.



Les caractéristiques optiques de la TN54TTX sont dans le tableau suivant:

La tolerance de CD	40000 ps/nm (HD-FEC)
	55000 ps/nm (SD-FEC)
La tolerance de PMD	25 ps
la puissance de sensibilité WDM-side	-16 dBm
La puissance de saturation de WDM-side	0 dBm
La puissance d'entrée	-5~0 dBm

Tableau 8: Les caractéristiques des cartes TN54TTX

TDX est une carte tributaire qui :

- Supporte les services 2 x 10GE LAN/10GE WAN/STM-64/OC-192/ OTU2/
- OTU2e <-> 2 x ODU2/ODU2;
- Supporte HD-FEC et SD-FEC;
- Occupe un seul emplacement dans le « subrack » ;
- Admet comme support les « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32 et d'optiX OSN 8800 T16;
- Les versions fonctionnelles disponibles de la TDX sont TN11, TN12 et TN52;



TDX

THA est une carte tributaire qui :

- Comporte 16 Ports pour les traitement des services ;
- Est principalement utilisée pour réaliser des raccordements à la couche électrique, et de fournir des interfaces OTN et ESC;
- Convertit les signaux comme suit:

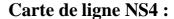
16 x (125 Mbit / s à 1,25 Gbit / s) <-> 16 x ODU0.

 $16 \times (1,49 \text{ Gbit / s à } 2,67 \text{ Gbit / s}) <-> 16 \times \text{ODU1}.$

 $16 \times (125 \text{Mbit / s à } 2,5 \text{ Gbit / s}) <-> 2 \text{ à } 16 \times \text{ODU1}.$

16 x UTO1 <-> 32 x ODU0.

- Supporte HD-FEC et SD-FEC;
- Occupe un seul. emplacement dans le « subrack » ;
- Admet comme support les « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32, T16 et T64;
- A pour version fonctionnelle disponible la TN54.



NS4 est une carte de ligne qui :

- Supporte des services du type 1 x 100G;
- Convertit les signaux : 80xODU0 / 80xODUflex / 40xODU1 / 10xODU2 / 10xODU2e / 2xODU3 / 1xODU4 <-> 1xOTU4;
- Prend en charge la transmission mixte des signaux ODU0, ODU1, ODUflex, ODU2, ODU2e et ODU3;
- Supporte HD-FEC et SD-FEC;
- Occupe deux emplacements dans le « subrack » ;
- Admet comme support les « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32 et d'optiX OSN 8800 T16 ;
- A pour version fonctionnelle disponibles la TN54.

Les caractéristiques optiques de la TN54NS4 sont dans le tableau suivant :

La tolerance à CD	40000 ps/nm (HD-FEC) 55000 ps/nm (SD-FEC)
La tolérance à PMD	25 ps
La puissance de sensibilité de côté WDM	-16 dBm
La puissance de saturation	0 dBm
La puissance d'entrée	-5~0 dBm

Tableau 9 : Les caractéristiques optique de la carte NS4





TN54NS4

UXCH: Carte universel d'interconnexion et d'horloge

- UXCH est une carte d'interconnexion principalement utilisée pour les services de la couche électrique, elle effectue la commutation des paquets ODUk (k = 0, 1, 2, 2e, 3, 4, ou flex), des VC-4 signaux et des services Ethernet;
- Elle occupe un slots dans le « subrack » ;
- Elle admet comme support le « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32 ;
- A pour version fonctionnelle disponibles la TN52.
- Elle se compose d'un module ODUk / VC cross-connect, d'un module de commutation de paquets, d'un module de commande /communication, et d'un module d'alimentation .

La matrice de brassage UXCH est presentée dans la figure ci-dessous:

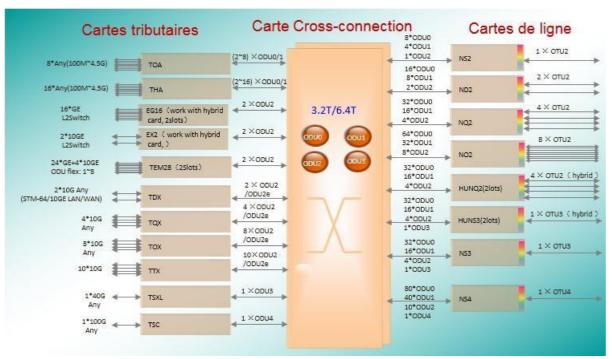
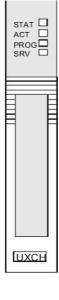
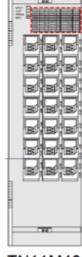


Figure 45: La matrice de brassage UXCH

M40: Unité de multiplexage de 40 canaux

- **M40** est une carte permettant de Multiplexer un maximum de 40 longueurs d'onde en un seul signal ;
- Les versions fonctionnelles disponibles de la carte M40 sont TN11 et TN12;
- M40 Occupe deux emplacements dans le « subrack » ;
- Elle admet comme support le « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32, T16 et T64;
- Elle se compose d'un module optique, d'un module de détection et de contrôle de température, d'un module de commande et de communication, et d'un module d'alimentation.

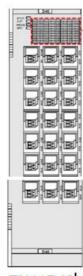




TN11M40

D40: Unité de démultiplexage de 40 canaux

- **D40** est une carte permettant de démultiplexer un signal optique en un maximum de 40 signaux;
- Les versions fonctionnelles disponibles de la carte D40 sont TN11 et TN12;
- **D40** Occupe deux emplacements dans le « subrack » ;
- Elle admet comme support le « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32, T16 et T64;
- Elle se compose d'un module optique, d'un module de détection et de contrôle de température, d'un module de commande et de communication, et d'un module d'alimentation.



TN11D40

WSMD9: 9-Ports de multiplexage /démultiplexage sélectif en longueur d'onde

- La WSMD9 est principalement utilisée pour diffuser des services de façon dynamique, de surveiller les alarmes et de contrôler les performances du réseau;
- La longueur d'onde de la carte TN11WSMD9 est séparée d'un espacement de canal de 50 GHz:
- La versions fonctionnelles disponibles de la carte WSMD9 est TN11;
- WSMD9 occupe deux emplacements dans le « subrack »;
- Elle admet comme support le « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32, T16 et T64;
- Elle se compose de deux modules optique RDUet WSS, d'un module de détection de puissance et de température, d'un module de commande et de communication, et d'un module d'alimentation.

FIU: Unitée d'interface de fibre

- La FIU a pour rôle de multiplexer/démultiplexer les signaux transmis le long du chemin principal avec le signal de supervision optique;
- Elle a pour versions fonctionnelles disponibles: TN11, TN12, TN13, TN14 et TN21;
- FIU Occupe un emplacement dans le « subrack »;
- La TN21FIU admet comme support le « subracks » d'OptiX OSN 8800 T32, d'OptiX OSN 8800 T16 et d'OptiX OSN 8800 T64.



WSMD9



TN21FIU

Présentation de la solution proposée:

Je choisit de présenter la solution pour laquel nous avons opté pour le site de Fès VN vu que ce dernier présente le maximum de trafic , ainsi :

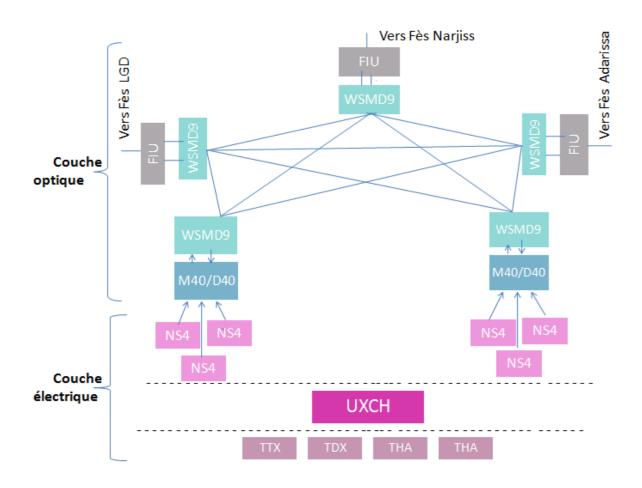


Figure 46 : solution proposée pour le site Fès VN

Etape 3: La planification des longueurs d'ondes

Le tableau ci-dessous montre les longueurs d'ondes dimensionnées sur la nouvelle boucle au niveau du site Fès VN selon les principes suivants :

-Principe: Les mêmes longueurs d'ondes sont attribuées aux services qui ne peuvent pas provoquer des conflits de longueurs d'onde, comme les services de protection et les services distribués.

La source de longueur d'onde	Fès LGD	Fès VN	Fès Narjisse	Fès Adarissa
1550.841/196.100	5x10GE + 1	x 8GE		
1551.236/196.150		2x10 GE +	1x 8GE	
1550.55/196.600		4x 10 GE	+ 1x 8 GE	

Tableau 10 : Planification des longueurs d'onde sur le site Fès VN

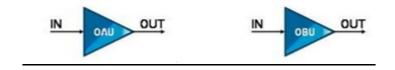
Etape 4: planification du budget de puissance

L'objectif de cette étape est de calculer la puissance nécessaire à l'émission, pour assurer le seuil minimal correspondant à la sensibilité des équipements récepteurs. On a donc à calculer l'atténuation de la ligne pour pouvoir planifier le type et l'emplacement des différents amplificateurs à utiliser.

L'information de l'atténuation de la fibre est généralement donnée par le client. Cependant, cette valeur est estimée à 0.275 dB/Km dans le cas où le client ne la signal pas, avec l'ajout d'une marge supplémentaire de 3dB.

a) Planification des amplificateurs:

On distingue deux types d'amplificateur OAU et OBU comme le montre la figure suivante:



47: Amplificateurs optiques

Le gain d'un amplificateur est donné par la relation :

Gain du canal
$$(dB) = P_{out} (dBm) - P_{in} (dBm)$$

L'OAU est un amplificateur à deux étages où un DCM peut étre inséré entre eux. Le premier étage est un pré-amplificateur (PA), le deuxième est un booster (BA) comme le montre la figure

suivante:

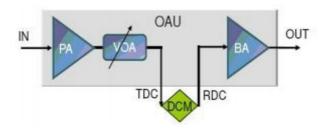


Figure 48 : Schéma interne de OAU

L'OBU est L'amplificateur à un seul étage, il est prioritaire à celui de deux étages (OAU) en raison de son coût.

Les caractéristiques des amplificateurs optique OAU/OBU qu'on peut utilisés pour le dimensionnement des boucles sont données dans le tableau suivant:

Nom	Puissance d'entrée	Puissance de sortie	Gain
OBU101	-20 dBm	0 dBm	20 dB
OBU103	-19 dBm	4dBm	23dB
OBU104	-17 dBm	0 dBm	17dB
OBU205	-16 dBm	7 dBm	23dB
OAU101	-16 dBm	4 dBm	20 ~ 31 dB
OAU102	-32 ~ -3 dBm	17Bm	20~ 31 dB
OAU103	20 dBm	4 dBm	24 ~ 36 Db
OAU105	-32 ~ 0 dBm	23 dBm	23 ~ 34 Db

Tableau 11 : Les caractéristiques des amplificateurs

b) Bilan de liaison:

Afin de montrer comment j'ai procédé aux calcules, je vais établir le bilan de liaison pour un tronçon de la boucle vu que tout les sites sont des ROADM. Ainsi je choisit la liaison liant Fès VN à Fès Narjiss. Le schéma de cette liaison est montré dans la figure 49 :

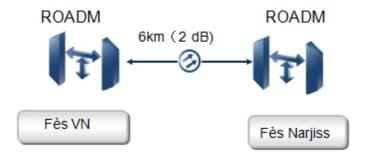


Figure 49 : liaison entre Fès VN et Fès Narjiss

On choisit d'insérer un OBU103, ainsi la liaison comporte les éléments suivant:

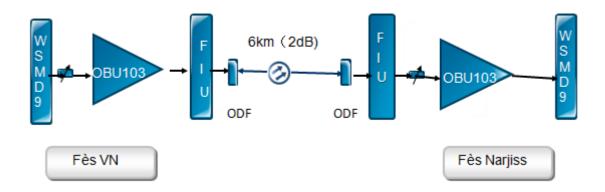


Figure 50 : éléments de la liaison

Un atténuateur optique variable (VOA) est placé avant chaque amplificateur pour ramener la puissance d'entrée de ce dernier à sa valeur standard. Il a pour atténuation minimale 2dB que nous devons prendre en compte lors des calcules.

-Les pertes d'insertion des équipements de la liaison sont regroupés dans le tableau suivant:

Equipement	FIU	Connecteur ODF	VOA
Pertes d'insertion (dB)	1	0.5	2

Tableau 12: Pertes d'insertion des équipements

On a d'une part:

$$Pin (OBU103) = -19dBm$$

Pout (**OBU103**) =
$$4+10\log N$$

Avec N le nombres de longueur d'ondes injectés dans le multiplexeur

D'autre part :

Les pertes d'insersion du FIU = $2 \times 1 dB$

Les pertes connectiques du ODF=2 x 0.5 dB

L'affaiblissement de la fibre = 2dB

Et on prend une marge de 3dB

Ainsi à l"entrée du OBU103 du site Fès Narjiss on a :

Pin (OBU103)= 4+10 log N-2(IL des FIU)-1(IL des ODF)-2(Atténuation de la fibre)-3 (Marge)

Pin (OBU103)=
$$4+10 \log 3 - 8 = 0.77 dBm$$

Or cette valeur est loin d'être la puissance nominale d'entrée de **l'OBU103**, pour la ramener à sa valeur standard (-19 dBm) on ajuste l'atténuateur variable sur -16.33 dBm, en effet :

0.77 (Pin OBU103)-2(IL du VOA) + α = - 19 (Pin caractéristique du OBU103)

$$-2.77 + \alpha = -19 \text{ dBm}$$

D'où le résultat.

Le bilan globale de la liaison est comme suit :

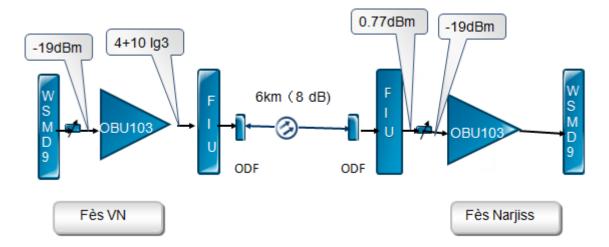


Figure 51:Bilan globale de la liaison Fès VN et Fès Narjiss

Etape 5: Planification du hardware

La planification hardware consiste à planifier les cabinets (les subracks) et les cartes proposées pour la solution .Ainsi après avoir conçu la boucle, on passe à l'installation des cartes au niveau de chaque site. On compte parmi les étapes d'installation Hardware, la mise en place du cabinet, la connexion des câbles et l'installation des unités fonctionnelles. Le cabinet du site Fès VN est illustré ci dessous :

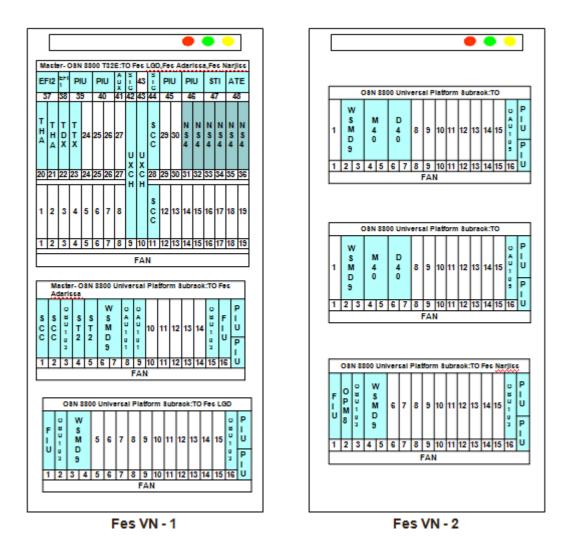


Figure 52 : Planification des cartes dans le cabinet du site Fès VN

Etape 6: La planification d'OSNR

Pour soutenir le fonctionnement normal des services, L'OSNR doit être suffisant. On se sert du logiciel MDS 6600 pour calculer l'OSNR de chaque longueur d'onde, ainsi, à titre d'exemple, la valeur de l'OSNR entre le site de Fès Adarissa et celui de Fès LGD est de 24.587dB comme le montre la capture ci desous :

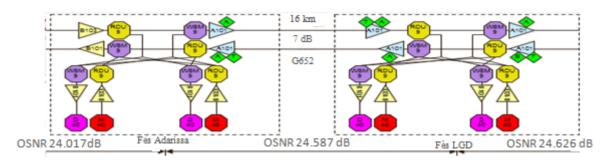


Figure 53: Le calcul d'OSNR sous MDS 6600

Etape 7: Planification des modes de protection:

Suivant la stratégie de l'opérateur, la protection utilisée est la « **ODUk SNCP protection** », cette méthode consiste à transmettre le signal en deux directions différentes et la sélection se fait du côté du récepteur. S'ajoute à ceci la protection « **ASON silver** » pour la restauration.

Conclusion

Durant ce chapitre j'ai détaillé les étapes de planification de la boucle NGWDM concernée tout en respectant le cahier des charges remis par Maroc Telecom..

CONCLUSION GENERALE

Le secteur des télécommunications se caractérise par sa vivacité et son expansion rapide. C'est un domaine où la maîtrise de la technologie se consolide comme pièce maîtresse de tout développement. Dans ce sens, opérateurs, équipementiers et instances de réglementation travaillent à un rythme effréné pour offrir, à une clientèle mondiale de plus en plus exigeante, des services intelligents et diversifiés. Cette diversité en terme de demandes de services pousse les réseaux de transmission à se développer afin de garantir un transport transparent et fiable.

Mon stage de fin d'études s'inscrit dans la mission que Maroc Telecom s'est donnée : développer son réseau de transmission afin de satisfaire les besoins de sa clientèle. Au cours de ce stage au sein de HUAWEI Technologies, ma mission consistais à faire une étude des technologies WDM et NGWDM dans le but d'éffectuer le dimensionnent et la planification des cartes cohérentes de service 100GE pour une nouvelle boucle que Maroc Télecom souhaite installer sur la ville de Fès.

Les difficultés que j'ai rencontrées résident essentiellement dans le manque de documents et la contrainte du temps. Cependant j'ai pu réussir à réaliser les objectifs majeur de ce projet.

Cependant la durée de vie du système 100 G s'avère limité. Ainsi, en guise de perspective, nous recommandons la planification dès présent du système optique 400 Gbits/s capable de répondre aux exigences future en termes de capacités.

Bibliographie

- [1] Topic on DWDM Theory-20080225-C (Huawei document)
- [2] OptiX OSN 8800 Product Documentation, Version V100R006C00, Date: 9/15/2011 (Huawei document).
 - [3] OptiX BWS 1600G Networking and Signal Flow (Huawei document)
- [4] OTC000003 WDM Principle ISSUE1.1 (Huawei document)
- [5] WDM Network Design and Planning (Huawei document)
- [6] Coherent Communication Technologies for WDM (HUAWEI Document)
- [7] WDM Coherent 100G project (HUAWEI document)
- [8] HUAWEI 100G (HUAWEI document)
- [9] OTC107101 OptiX OSN 6800/3800 Hardware description (Huawei document).
- [10] OTC107102 Optix OSN 8800 Hardware description (Huawei document).
- [11] Thèse: On coherent detection for optical transmissions at 40 GB/s and 100 GB/s soutenu par "Oriol Bertran-Pardo" le 10 September 2010 à Télécom ParisTech
- [12] Cours Transmission Optique Pr : Mr ABDI Farid , FST Fès , Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.
- [13]:Rapport de PFE « Étude et ingénierie d'un réseau NGWDM » de M.MOUDIR YASSINE, année 2013, ENSA TANGER Université Abdelmalek Essaadi.
- [14] Rapport de PFE « **Etude et implémentation de la technologie NGWDM sur la boucle LW12 liant Oujda à Nador** » de LEMNIAI Abdelhek , année 2015 , FST FES, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah.

Webographie

- http://support.huawei.com/
- http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_112021
- <a href="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/morematerial-b/HW_206665?Addr="http://www.huawei.com/ilink/en/solutions/broader-smarter/moremater-smarter/moremater-smarter/moremater-smarter/moremater-smarter-sm

ANNEXE

Caractéristiques techniques de l'OSN 8800

Specifications		OSN 8800 T16	OSN 8800 T32	OSN 8800 T64	
				THE STATE OF THE S	
Dimensions (mm)		450 (H) × 447 (W) × 295 (D)	900 (H) × 498 (W) × 290 (D)	900 (H) × 498 (W) × 580 (D)	
Number of card	-slot	16	32	64	
	Optical	2/4/9-degree ROADM			
Switch	Electrical	640G/1.6T ODUk(k=0,1,2,2e,3,flex), 640G VC4 & 20G VC3&VC12	1.28T/3.2T ODUk(k=0,1,2,2e,3,flex), 1.28T VC4 & 80G VC3&VC12	2.56T/6.4T ODUk(k=0,1,2,2e,3,flex), 1.28T VC4 & 80G VC3&VC12	
Wavelength		80			
Wavelength ran	ge	192.1THz ~ 196.05THz (Band-C, ITU-	T G.694.1)		
Max. rate per ch	nannel	100Gbit/s (OTU-4)			
Reach		Max. 350km(81dB)			
		STM-1/4/16/64/256			
		OC-3/12/48/192/768			
	Ŧ	OTU1/OTU2/OTU3			
Client	Type	Any services at a rate ranging from 10	00Mbit/s to 100Gbit/s		
Interface		FE/GE/10GE/40GE/100GE			
		ESCON/FICON/FICONExpress/FC100/F	C200/FC400/FC1200/HDTV/ DVB-ASI/D	VB-SDI/SDI/ FDDI	
	Fiber	G.652, G.653, G.654, G.655			
	Connector	SFP/XFP, LC/PC			
	Type	OTU-1/OTU-2/OUT-3			
Line interface	Fiber	G.652, G.653, G.654, G.655			
	Connector	SFP/XFP, LC/PC			
Topology		Point-to-point, Chain, Ring and Mesh	1		
Synchronization		Sync. E, 2Mbit/s			
	Hardware	Cross-connect 1+1 backup, control b	oard 1+1 backup and power 1+1 backu	ıp, clock 1+1 backup	
Protection Mechanism	Destacel	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	line protect, optical channel protect, O tion, optical wavelength shared protect		
	Protocol	SDH network level protection: linear Protection, ASON	1+1/1:N/ring MSP, SNCP, TOA, DNI, DLA	G&LAG and Fiber Shared-virtual Path	
		Optical intelligent platform			
		electrical intelligent platform (ODUk&VCx)			
		End-to-end service configuration			
ASON		MESH networking protection and restoration			
75011		SLA provides different clients with services of different QOS, including the diamond services, golden services, silver			
		services, and copper services			
Services optimization, migration and restoration					
		Service equilibrium and shared risk link group(SRLG)			
Mount method		ETSI 300/600cabinet, 23-inch rack			
Operating temp	erature -5°C~45°C				
Cooling		Fan Cooling			
Humidity		10~90%			
Power Input		DC: -48/-60V			

_	_
\neg	7
1	- /