

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté De Génie Electrique et d'Informatique
Département de Télécommunications



Mémoire de Fin d'Etudes de
MASTER ACADEMIQUE

Spécialité :

Réseaux & Télécommunications

Filière :

Télécommunications

Par

Hassen Fethoun

Aghiles Bentaha

Thème

Etude et mise en service d'une liaison de
transmissions 622 Mb/s SDH

Soutenu le : 07/10/2024

Devant le jury :

Président :	M ^{me} . Ouiza BOUSSOUM	UMMTO	MCB
Promoteur :	M ^{me} . Nora ZIANI	UMMTO	MCB
Co-promoteur :	M ^{me} . M MATOUB		
Examineurs :	M ^{me} . ABBA Faiza	UMMTO	MCB

Remerciements

À travers ce modeste travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur

Mme N. ZIANI pour son soutien, ses conseils avisés et le temps qu'elle nous

a consacré au dépend de son travail.

Nous remercions vivement notre encadreur Mme M. MATOUB et l'ensemble du personnel de

l'entreprise « ALGERIE TELECOM » plus spécialement ceux du centre « EMRT » pour les

conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de notre stage.

Nos remerciements s'adressent également à tous les membres du Jury, qui ont accepté de nous

honorer de leur présence et d'évaluer notre modeste travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les professeurs et enseignants

qui ont collaboré à notre formation depuis notre premier jour

jusqu'à la fin de notre cursus universitaire.

Enfin, merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace 1

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents,
pour leur soutien inébranlable et leur guidance précieuse.
Grâce à votre amour et à votre encouragement, j'ai pu devenir
la personne que je suis aujourd'hui.*

" Merci pour tout."

*À mes tantes Malika et Chafia, pour votre présence constante,
votre soutien indéfectible et votre amour inconditionnel.*

" Merci de m'avoir inspirée "

À mon petit frère Salem,

Que tu connaisses réussite et bonheur dans tout ce que tu entreprendras.

Je crois en toi !

*À toutes les personnes chères à mon cœur, pour leur aide, leur temps,
leur encouragement, leur assistance et leur soutien.*

Merci infiniment.

HASSEN

Dédicace 2

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour et leur soutien

tout au long de mes études,

A mes chers frères,, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Merci d'être toujours là pour moi.

AGHILES

Sommaire

Remerciements	2
Dédicace 1	3
Dédicace 2	4
Sommaire	5
Liste des tables	9
Liste des figures	10
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	13
Introduction Générale.....	17
Chapitre I : Généralités sur la fibre optique	18
1 Introduction	19
2 Définition	19
3 Structure de la fibre optique	19
4 La fibre double gaine.....	20
5 Les modes d'une fibre optique	20
6 Fabrication de la fibre optique	20
7 Différents types de fibres optiques.....	21
7.1 Fibres optiques multimodes.....	21
7.1.1 Fibres optiques multimodes à saut d'indice	21
7.1.2 Fibres optique multimodes à gradient d'indice	22
7.2 Les fibres optiques monomodes	22
7.3 La différence entre la fibre monomode et la fibre multimode.....	22
8 Les avantages et les inconvénients de la fibre optique.....	23
9 Les caractéristiques de la fibre optique	23
9.1 Lois de Snell-Descartes	23
9.1.1 Lois de réflexion.....	23
9.1.2 Loi de réfraction	24
9.2 L'ouverture numérique d'une fibre.....	25

9.3	Longueur d'onde de coupure.....	25
9.4	Atténuation	26
9.4.1	L'absorption	26
9.4.2	Les pertes.....	26
9.4.3	Les pertes d'insertion	28
9.4.4	Les pertes lors de l'épissage.....	28
9.5	Dispersion chromatique	29
9.5.1	La dispersion du matériau (Dm).....	29
9.5.2	La dispersion du guide (Dg).....	29
9.6	Non-linéarité	30
9.7	La bande passante	30
9.8	Débit de transmission	31
10	Les connecteurs fibre optique	31
10.1	Caractéristiques des connecteurs fibre optique.....	32
11	Conclusion.....	33
Chapitre II : La chaîne de transmission optique.....		34
1	Introduction	35
2	Structure d'une liaison de transmission optique	35
2.1	Bloc d'émission	35
2.1.1	Source optique.....	36
2.1.2	Modulateurs optiques	38
2.2	Composants de la ligne de transmission.....	40
2.2.1	Les amplificateurs optiques.....	40
2.2.2	Amplificateur optique à semi-conducteur (AOSC).....	41
2.2.3	Amplificateur optique à fibre dopée Erbium (EDFA)	41
2.2.4	Amplificateur Raman	42
2.3	Bloc de réception	42
2.3.1	Le photodétecteur	42
2.3.2	Principe de la photodétection	42
2.3.3	Types de photodétecteurs	43
2.3.4	Caractéristiques d'un photodétecteur	44
3	Techniques de transmission et de multiplexage en optique	44

3.1	Le multiplexage temporel TDM	44
3.1.1	Multiplexage temporel optique (OTDM)	45
3.1.2	Multiplexage temporel électronique (ETDM).....	45
3.2	Le multiplexage en longueurs d'onde WDM	45
3.3	Le multiplexage par répartition de code optique OCDMA	46
4	Conclusion.....	46
Chapitre III : Aperçu de la technologie SDH		48
1	Introduction	49
2	La Hiérarchie Numérique Plésiochrone (PDH)	49
2.1	Limite du système numérique PDH.....	49
3	La Hiérarchie Numérique Synchrone SDH.....	49
3.1	Comparaison entre la PDH et la SDH	50
4	Principe de fonctionnement de la SDH	51
4.1	Constitution des trames SDH	51
4.2	Structure de la trame de base STM-1	52
4.2.1	RSOH (Régénération Section Over Head).....	52
4.2.2	MSOH (Multiplex Section Over Head)	53
4.2.3	Le pointeur (PTR)	53
4.2.4	POH (Path Over Heads)	53
4.3	Multiplexage SDH.....	53
5	Formation de la trame de base (STM-1)	54
6	Formation de la trame STM-n.....	55
7	La protection du conduit (SNCP).....	56
8	Conclusion.....	57
Chapitre IV : Simulation d'une liaison optique SDH 622 Mb/s		58
1	Introduction	59
2	Présentation de l'organisme de travail	59
2.1	Algérie Télécom	59
2.1.1	Mission et objectif d'Algérie Télécom.....	59
2.2	Présentation de l'EMRT de Tizi-Ouzou	60
2.2.1	Missions de l'EMRT	60
2.2.2	Organigramme de l'EMRT	60

3	Étude du projet	61
3.1	La technologie SDH	61
3.2	Présentation de l'équipement OptiX OSN 550.....	61
3.2.1	Caractéristiques principales de l'OptiX OSN 550	62
3.2.2	Avantages de l'OptiX OSN 550	62
3.2.3	Architecture de l'OptiX OSN 550.....	63
3.3	Description du logiciel U2000.....	63
3.3.1	Caractéristiques du logiciel U2000	63
3.3.2	Position d'U2000 dans un réseau de gestion des télécommunications	64
3.3.3	Couche de gestion de réseau	64
3.4	Configuration du dispositif OptiX OSN 550 à 622 Mb/s.....	65
3.5	Configuration de la liaison 622 Mb/s (Azazga/Bouzeguene).....	74
3.5.1	Choix des paramètres de configuration	74
3.5.2	Explication des configurations	74
3.5.3	Paramètres de configuration de la liaison	74
3.5.4	La configuration final de la liaison 622 Mb/s	75
3.5.5	Description des cartes d'OSN 550	75
4	Teste des liaisons.....	76
4.1	Liaisons optiques	76
4.1.1	Appareil Emission /Réception.....	76
4.1.2	Le Réflectomètre	77
4.2	Liaison électrique	77
5	Conclusion.....	78
	Conclusion Générale	79
	Références	80

Liste des tables

Tableau 1 : Table de Configuration des Timeslot Azazga/Bouzeguene. 74

Liste des figures

Figure 1 : Structure générale de la fibre optique.	19
Figure 2 : Structure de la fibre à double gaine.[15]	20
Figure 3 : Un trajet lumineux dans une fibre a saut d'indice.	21
Figure 4 : Trajet lumineux dans une fibre à gradient d'indice.[27]	22
Figure 5 : fibre optique monomode et son trajet lumineux.[26]	22
Figure 6 : Le phénomène de réflexion.[27].....	24
Figure 7 : le principe de la réfraction.[27]	24
Figure 8 : Pertes dans une fibre optique par diffusion.[30].....	26
Figure 9 : Pertes dans une fibre optique par diffusion de Rayleigh.[30]	27
Figure 10 : Les pertes par courbure dans la fibre optique.[31]	27
Figure 11 : Les pertes par micro courbure dans une fibre optique.[32].....	27
Figure 12 : couplage fibre optique.[33].....	28
Figure 13 : couplage de deux fibres à diamètre de cœurs différents.[32]	28
Figure 14 : couplage de deux fibres identiques ayant un décalage axial D.[32].....	28
Figure 15 : couplage de deux fibres identiques séparées d'une distance e.[32].....	29
Figure 16 : couplage de deux fibre forme un angle α .[32].....	29
Figure 17 : Connecteur optique ST. [15].....	31
Figure 18 : Connecteur optique SC. [15]	32
Figure 19 : Connecteur optique FC. [15]	32
Figure 20 : Connecteur optique LC. [15]	32
Figure 21 : Modules d'un circuit de transmission optique.[17]	35
Figure 22 : Schéma d'un émetteur optique.	36
Figure 23 : Symbole d'une source optique.....	36
Figure 24 : Diode LED.[34]	37
Figure 25 : Mode de fonctionnement d'une LED.[15].....	37
Figure 26 : Diode Laser.....	38

Figure 27 : Phénomènes d'absorption, émissions spontanées et stimulées.[16].....	38
Figure 28 : Schéma synoptique de la modulation directe.	39
Figure 29 : Schéma synoptique de la modulation externe.....	39
Figure 30 : Différents amplificateurs dans un système de communication.	40
Figure 31 : Schéma d'un amplificateur optique à semi-conducteur.[11].....	41
Figure 32 : Composant d'un amplificateur EDFA.[14]	41
Figure 33 : Symbole du photodecteur.	42
Figure 34 : Structure de base d'une photodiode PIN.[17].....	43
Figure 35 : Schéma d'une photodiode APD.[17].....	43
Figure 36 : Principe d'un multiplexage temporel.[18].....	44
Figure 37 : Principe du multiplexage OTDM.[25].....	45
Figure 38 : Schéma de principe de l'ETDM dans les communications par fibre optique.[11]	45
Figure 39 : Principe du multiplexage de longueur d'onde.[27]	46
Figure 40 : Schéma de principe d'une liaison OCDMA.[25]	46
Figure 41 : Position de la hiérarchie SDH dans le modèle OSI.....	50
Figure 42 : Structure de la trame de base STM-1. [28].....	52
Figure 43 : Représentation des octets du RSOH. [28]	52
Figure 44 : Représentation des octets du MSOH. [28]	53
Figure 45 : Répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET. [28]	53
Figure 46 : Les niveaux du multiplexage SDH. [28]	54
Figure 47 : formation d'une trame STM-1 à partir d'affluents E1. [28].....	54
Figure 48 : construction d'un Conteneur. [28].....	54
Figure 49 : Construction d'un Conteneur Virtuel. [28]	55
Figure 50 : Construction de la tributary unit. [28].....	55
Figure 51 : Constitution d'une TUG-2 à partir de 3 TU-12. [28].....	55
Figure 52 : Structure du multiplexage synchrone pour la formation de l'STM-n. [28].....	56
Figure 53 : protection du conduit. [28]	56
Figure 54 : Logo d'Algérie Télécom.[35].....	59
Figure 55 : Organigramme de l'EMRT de Tizi-Ouzou.....	60
Figure 56 : Structure de l'équipement OptiX OSN 550.....	61
Figure 57 : Architecture de l'OptiX OSN 550.	63
Figure 58 : Position de U 2000 dans un réseau de gestion des télécommunications.[3].....	64

Figure 59 : U2000 dans la couche de gestion de réseau.....	65
Figure 60 : U2000 LCT Server et U2000 LCT Client.	65
Figure 61 : fenêtre d'authentification du logiciel U2000.....	66
Figure 62 : Interface graphique du logiciel U2000.	66
Figure 63 : Lancement de la recherche des appareils connectés au réseau.....	67
Figure 64 : Recherche d'équipement.	67
Figure 65 : Création de l'équipement.....	68
Figure 66 : Ajout de l'équipement dans la base de données U2000.	68
Figure 67 : Fenêtre permettant d'accéder aux différentes options de configuration	69
Figure 68 : Les différents modes de configurations de l'équipement	69
Figure 69 : Fiche technique de l'équipement	70
Figure 70 : Chargement des différentes cartes.	70
Figure 71 : Vérification et validation de la configuration.....	71
Figure 72 : Equipement configuré.....	71
Figure 73 : configuration d'un nouveau service.....	72
Figure 74 : création d'un nouveau service.	72
Figure 75 : Création des services SDH.	73
Figure 76 : configuration du service SDH	73
Figure 77 : configuration final de la liaison 622Mb/s.....	75
Figure 78 : Description des cartes d'OSN 550.....	75
Figure 79 : Optical Power Meter « ACTERNA OPL-55 »	76
Figure 80 : Principe de la mesure par Appareil Emission/Réception. [28].....	76
Figure 81 : Réflectomètre optique portable OTDR.....	77

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

A

AC	Courant ALTERNATIVE
ADP	Avalanche Photo Diode
AOSC	Amplificateur Optique à Semi-Conducteur
ASON	Automatically Switching Optical Network
AT	Algérie Télécom
ATM	Asynchronous Transfert Mode
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group

B

BELLCORE	BELL Communication Research
BIT	Binary Digit

C

C-n	Container d'Ordre n
CCITT	Consultative Comitee for International Telephony and Telegraphy
CDC	Communication Device Class
CDMA	Code Division Multiple Access

D

DCC	Data Communication Channel
DEL	Diode Electroluminescente
Dg	Dispersion du Guide
DL	Diode Laser
Dm	Dispersion du Matériau
DML	Direct Modulated Lasers
DOT	Direction Opérationnelle des Télécommunications
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexert

E

E1	Electrical signal interface, 2048 Ko
EAM	Modulateur Electro-Absorption
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EMTR	Etablissement Maintenance Réseau de Transport
ETDM	Electronic Time Division Multiplexing
Ethernet	Norme définissant la transmission de données sur un câble

F

FC	Ferrule Connector
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FH	Faisceaux Hertiens
FO	Fibre Optique

H

HO	High Order
-----------	------------

I

IP	Internet Protocol
IT	Interval de Temps

L

LC	Lucent Connector
LED	Light Emitting Diode
LO	Low Order

M

MML	Military Mission Liaison
MPLS	Multiprotocol Label Switching
MPLS-TP	Multiprotocol Label Switching Transport Profile
MSAN	Multi Service Access Node
MSOH	Multiplex Section Over Head

N

NE	Network Element
NEC	Nippon Electric Company

NEs	Network Elements
NG-DWDM	Dense Lenghty Division Multiplexing
NMS	Network Management Station

Q

OCDMA	Optical Code Division Multiple Access
ON	Ouverture Numérique
OPL	Optical Power Meter
OSI	Open System Interconnection
OSN	Optical System Network
OTDM	Optical Time Division Multiplexing
OTDMA	Optical Time Division Multiple Access
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer

P

PDA	Photodiode à Avalanche
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PIN	Positive Intrinsic Negative
POH	Path Over Heads
PRC	Primary Reference Clock
PTN	Packet Transport Network
PTR	Pointeur

R

RSOH	Regeneration Section Over Head
RSS	Really Simple Syndication
RTN	Real Time Novel

S

SAN	Storage Area Network
SBS	Diffusion Stimulée Brillouin
SC	Standard Connector
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SMF	Single Mode Fibre
SNCP	Sub-Network Connexion Protection

SNMP	Simple Network Management Protocol
SNMS	Simple Network Management Service
SOA	Semi Conductor Optical Amplifier
SOH	Section Over Head
SONET	Synchronous Optical Network
SPA	Société Par Actions
ST	Straight Tip
STM	Synchronous Transport Module
STM-n	Module de Transport Synchrone level-n
STS-n	Signal de Transport Synchrone level-n

T

TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Transverse Electrique
TM	Transverse Magnétique
TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group

U

UIT	Union International des Télécommunication
UNIX	Uniplexed Information and Computing Service
URAD	Unité de Raccordement d'Abonnés Déportée
USB	Universal Serial Bus

V

VC	Conteneur Virtuel
VC-n	Conteneur Virtuel d'ordre n
VPN	Virtual Private Network

W

WDM	Wavelength Division Multiplexing
WDMA	Wavelength Division Multiple Access

X

XML	Extznsible Markup Language
------------	----------------------------

Introduction Générale

Aujourd'hui, à l'ère du numérique et du multimédia, la demande en bande passante ne cesse d'augmenter, alimentée par une croissance exponentielle des services en ligne, créant une pression considérable sur les infrastructures de transmission, qui doivent évoluer pour répondre aux exigences de performance et de fiabilité.

La fibre optique se présente comme une solution incontournable pour répondre à ces besoins. Elle offre une bande passante largement supérieure et permet de transmettre des données à des vitesses extrêmement élevées sur de longues distances sans dégradation du signal, ce qui en fait le support idéal pour les liaisons de transmission à grande échelle.

L'évolution des technologies de multiplexage temporel (TDM) vers la hiérarchie numérique synchrone (SDH) représente une révolution significative dans le domaine des transmissions optiques. Elle a été développée pour standardiser la transmission de données à haut débit dans les réseaux optiques, tout en assurant une interopérabilité entre différents types de réseaux. Cette technique de transmission optimise l'utilisation des fibres optiques tout en posant les bases d'une infrastructure réseau plus flexible et évolutive.

Ce mémoire se propose d'explorer en profondeur l'étude et la mise en service d'une liaison de transmission optique SDH à un débit de 622 Mb/s entre deux points (Azazga et Bouzeguène), dans le cadre d'un stage au niveau de l'établissement maintenance réseau de transport (EMTR) d'Algérie Télécom de Tizi-Ouzou.

Pour cela, nous avons segmenté notre travail en quatre chapitres :

- Dans le premier, un aperçu global sur la fibre optique a été présenté en mettant en avant sa décomposition et ses caractéristiques majeures.
- Dans le deuxième, on a effectué une étude théorique d'une chaîne de transmission optique et des divers blocs qui la composent.
- Dans le troisième, une étude théorique et technique de la technologie SDH a été effectuée et son principe de fonctionnement a été présenté.
- Et enfin, la partie pratique de notre étude est dédiée à la conception d'une liaison de transmission optique SDH à 622 Mb/s entre deux points (dans notre cas d'étude : Azazga vers Bouzeguene) en utilisant la plateforme iManager U2000.

Pour terminer notre travail, une conclusion générale est tirée et des prescriptives sont proposées.

Chapitre I : Généralités sur la fibre optique

1 Introduction

À ce jour, la fibre optique est utilisée pour conduire des signaux lumineux sur de très longues distances à des débits extrêmement élevés. Dans un monde où la demande en connectivité haut débit ne cesse de croître, la fibre optique s'impose comme l'élément essentiel des télécommunications optiques.

Ce chapitre a pour but d'étudier les principes physiques de la fibre optique, ses avantages et ses limites.

2 Définition

La fibre optique est un guide d'ondes diélectrique qui utilise les propriétés de réfraction de la lumière. Il s'agit en fait d'un cylindre en verre ou en plastique très fin (micron) qui contient efficacement la lumière injectée à l'une de ses extrémités, assurant son confinement lors de la transmission sur de longues distances (jusqu'à des milliers de kilomètres).

Elle fournit des débits d'information beaucoup plus élevés que le câble coaxial et prend en charge les réseaux « à large bande » par lesquels peuvent transiter les données de télévision, de téléphone, de vidéoconférence ou d'ordinateur.

3 Structure de la fibre optique

- **Cœur** : la partie centrale de la fibre optique avec un indice de réfraction n_1 .
- **Gaine** : Matériau entourant le cœur avec un indice de réfraction n_2 légèrement plus faible à n_1 .
- **Revêtement protecteur** : Couche externe généralement en PVC, non impliquée dans le guidage, assurant la protection mécanique de la fibre.

Ces deux zones importantes pour l'acheminement de la lumière sont composées de deux matériaux différents. Le revêtement de protection est généralement en plastique, enveloppe la fibre optique sans intervenir dans l'acheminement de la lumière.

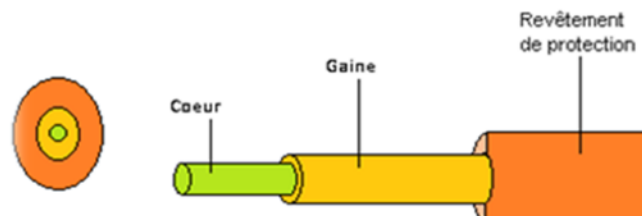


Figure 1 : Structure générale de la fibre optique.

4 La fibre double gaine

La fibre optique à double gaine possède une deuxième couche protectrice extrudée autour de la première gaine, offrant une protection supplémentaire, elle a été un progrès majeur dans le développement des fibres optiques.

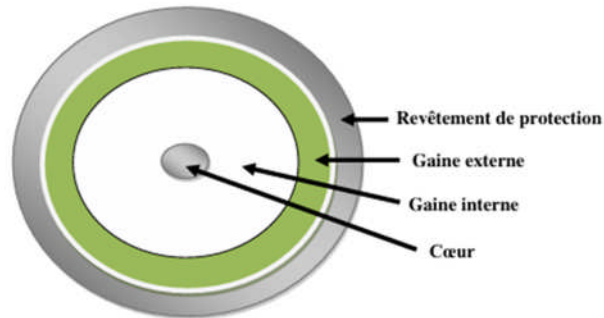


Figure 2 : Structure de la fibre à double gaine.[15]

5 Les modes d'une fibre optique

La lumière est une onde électromagnétique, elle est constituée de deux éléments perpendiculaires à sa direction de propagation :

- Le vecteur Champ électrique.
- Le vecteur Champ magnétique.

Chaque mode a un type de propagation selon la polarisation de l'onde électromagnétique :

- ▶ **Mode TE (Transverse Electrique)** : le vecteur champ électrique est parallèle au plan d'incidence du faisceau. [2]
- ▶ **Mode TM (transverse magnétique)** : Le vecteur champ magnétique est perpendiculaire au plan d'incidence du faisceau. [2]

6 Fabrication de la fibre optique

La fabrication d'une fibre optique passe par la réalisation d'une préforme cylindrique en barreau de silice. La silice est une forme de silicium oxygéné, de formule SiO_2 , qui se trouve dans de nombreux minéraux, comme le quartz, la calcédoine et l'opale. Le barreau est ensuite étiré, en mettant l'extrémité dans un four porté à une température proche de 2000 °C. Il devient alors une fibre de plusieurs centaines de kilomètres, à une vitesse d'environ un kilomètre par minute. La fibre est recouverte d'une double couche de résine protectrice avant d'être enroulée sur une bobine.

Son centre, qui représente le cœur, est entouré d'une silice de moindre qualité qui forme la gaine optique. Une différence d'indice entre le cœur et la gaine est réalisée en ajoutant des dopants, comme :

- Le germanium et le phosphore augmentent l'indice dans le cœur.
- Le bore et le fluor qui entraînent sa diminution dans la gaine.

Une préforme en verre de 1 m de long et de 10 cm de diamètre permet d'étirer une fibre monomode d'environ 150 km de longueur.

7 Différents types de fibres optiques

Il existe deux types de fibre optique :

- **La fibre multimode** : caractérisée par la présence de plusieurs rayons lumineux « modes » transportés simultanément dans le cœur de la fibre optique.
- **La fibre monomode** : caractérisée par la propagation d'un unique rayon lumineux « modes », suivant un trajet rectiligne dans le cœur de la fibre optique.

7.1 Fibres optiques multimodes

Leur cœur a une taille importante par rapport au reste de la fibre (de 50 μm et de 62,5 μm). Dimensionnées pour transporter simultanément un grand nombre de rayons lumineux.

7.1.1 Fibres optiques multimodes à saut d'indice

Les fibres multimodes à saut d'indice possèdent un cœur avec un indice constant et une gaine sombre, ce qui entraîne la réflexion des rayons lumineux à la limite entre les deux matériaux. Néanmoins, cette diversité de chemins optiques engendre un étalement temporel des impulsions lumineuses, ce qui provoque une déformation du signal à la sortie (dispersion). [8]

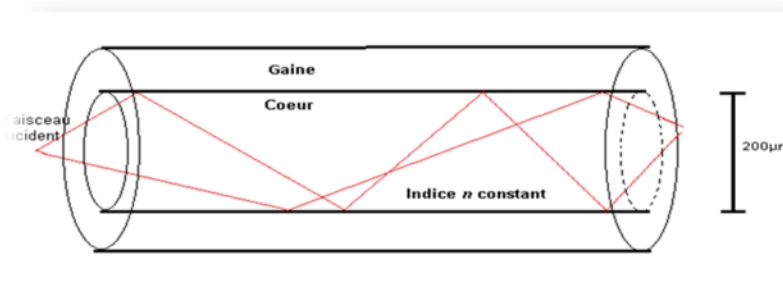


Figure 3 : Un trajet lumineux dans une fibre à saut d'indice.

7.1.2 Fibres optiques multimodes à gradient d'indice

Selon une loi de conservation très précise, l'indice de réfraction diminue progressivement du centre vers la périphérie dans la fibre multimode à gradient d'indice et engendre une courbure progressive des trajectoires lumineuses. Grâce à cette variation d'indice, il est possible de mieux contrôler la propagation de la lumière dans la fibre, en réduisant le phénomène de dispersion et en améliorant la qualité du signal

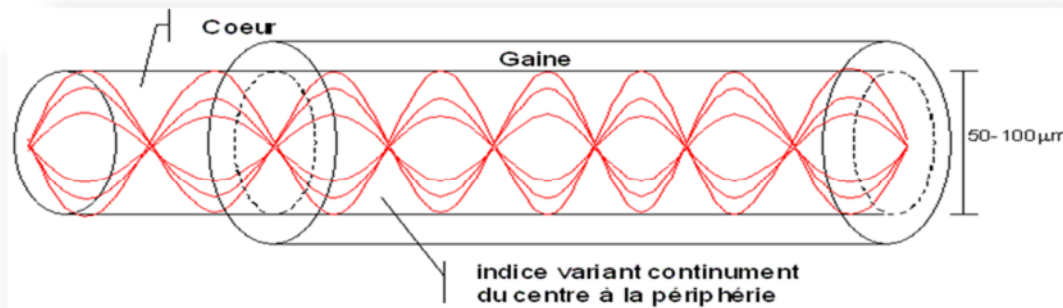


Figure 4 : Trajet lumineux dans une fibre à gradient d'indice.[27]

7.2 Les fibres optiques monomodes

La fibre optique monomode (SMF : Single Mode Fibre) est la fibre la plus performante actuellement disponible. La fibre monomode possède un cœur extrêmement fin (8 μm à 10 μm), ce qui permet la propagation d'un seul rayon lumineux en ligne droite.

En général, elles sont réservées aux applications à haut débit et de longue distance, car elles offrent une bande passante élevée, une faible atténuation et une meilleure résistance aux interférences.

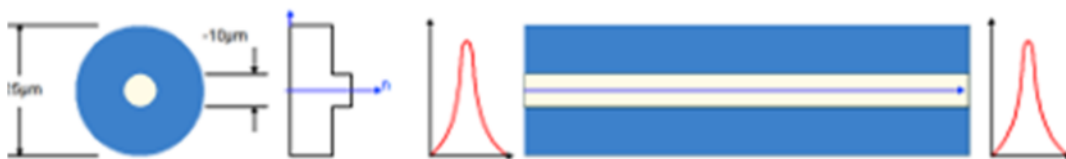


Figure 5 : fibre optique monomode et son trajet lumineux.[26]

7.3 La différence entre la fibre monomode et la fibre multimode

La différence principale réside dans la diffusion de la lumière. Le cœur de la fibre monomode est si petit que la lumière se déplacera sur un seul trajet, tandis que dans une fibre multimode, elle possède un cœur de large diamètre qui permet aux rayons lumineux de suivre des trajets différents.

8 Les avantages et les inconvénients de la fibre optique

➤ Les avantages :

- La fibre optique permet de transmettre des données sur de longues distances à des débits très importants (jusqu'à 100 Gbit/s et plus).
- L'atténuation et la dispersion sont très faibles dans les fibres optiques modernes, ce qui permet de maintenir la qualité du signal sur de longues distances.
- Insensibilité aux interférences électromagnétiques, cela assure une absence totale de diaphonie et garantit la sécurité et la confidentialité des données transmises.
- Le diamètre et la masse réduits des fibres permettent de loger un grand nombre de lignes dans le même câble.
- La transmission tout-optique sans courant électrique élimine tout risque d'étincelles.
- Les fibres optiques ont une durée de vie plus longue.
- Les fibres optiques offrent une bande passante bien supérieure à celle des câbles métalliques.

➤ Les Inconvénients :

- En général, le coût des fibres optiques est supérieur à celui des câbles électriques, en particulier pour les fibres monomodes.
- La fibre optique présente une fragilité plus importante, elle peut être facilement endommagée par des chocs, des écrasements ou des flexions excessives par rapport aux fils de cuivre.
- Réservé aux liaisons de courtes distances ; sinon, il est nécessaire d'utiliser des répéteurs pour amplifier le signal. (Multimode)
- Il est plus compliqué d'installer et de maintenir un câblage en fibre optique, et seuls des techniciens compétents et expérimentés peuvent le réaliser.
- Il est nécessaire de procéder à un polissage délicat et à un parallélisme parfait pour connecter deux fibres optiques.

9 Les caractéristiques de la fibre optique

9.1 Lois de Snell-Descartes

Ces lois expliquent comment la lumière se comporte à l'interface des deux milieux.

9.1.1 Lois de réflexion

Lorsque la lumière parvient à la surface d'un dioptre (une surface optique qui sépare deux milieux transparents ayant des indices de réfraction différents), une partie de celle-ci est réfractée (ou déviée vers le nouveau milieu) tandis que l'autre partie est renvoyée vers le milieu d'origine : ces rayons lumineux sont réfléchis. À la surface du dioptre, les angles de rayons d'incidence et de réflexion sont équivalents et opposés à la normale :

$$i = i' \quad (1)$$

i : L'angle d'incidence.

i' : L'angle de réflexion.

1ere loi : dans le plan d'incidence, on retrouve le rayon incident et le rayon réfléchi.

2eme loi : Le rayon réfléchi est en symétrie avec le rayon incident par rapport à la normale à la surface réfléchissante.

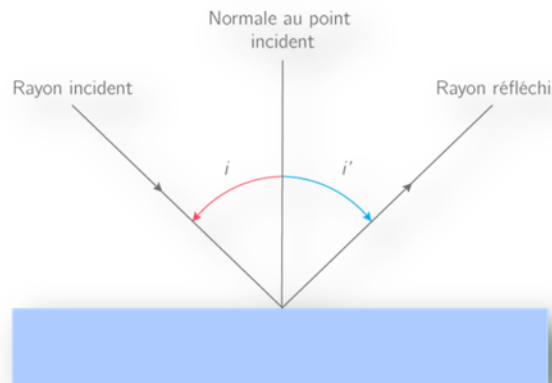


Figure 6 : Le phénomène de réflexion.[27]

9.1.2 Loi de réfraction

Le phénomène de réfraction décrit le changement de direction d'un rayon lumineux lorsqu'il traverse la surface de séparation de deux milieux transparents. En fait, lorsque le rayonnement lumineux traverse la surface de séparation entre deux environnements, une partie du signal lumineux sera réfractée, tandis qu'une autre sera réfléchie. La figure ci-dessous explique le concept de la réfraction :

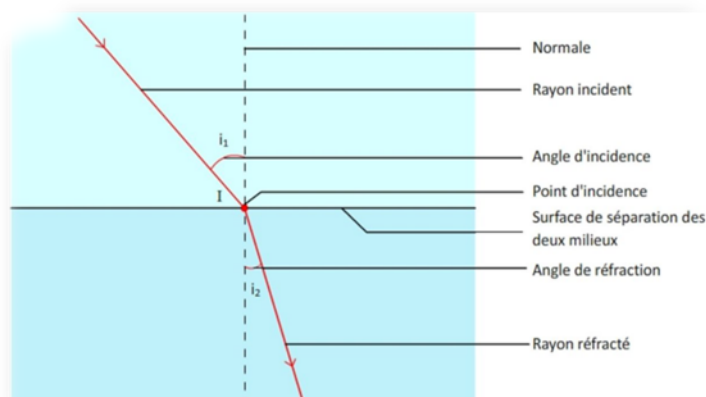


Figure 7 : le principe de la réfraction.[27]

On mentionne deux lois de la réfraction, à savoir :

1ere loi : Le plan d'incidence comprend le rayon incident et le rayon réfracté.

2eme loi : le principe qui établit la relation suivante :

$$n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2) \quad (2)$$

n_1 : Indice de réfraction du milieu d'origine.

n_2 : Indice de réfraction du second milieu.

i_1 : Angle d'incidence.

i_2 : Angle de réfraction.

9.1.2.1 *Indice de réfraction*

Le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide (c) et sa vitesse dans le milieu (c_1) est connu sous le nom d'indice de réfraction (n_1) :

$$n_1 = \frac{c}{c_1} \quad (3)$$

Avec :

c : vitesse de la lumière.

c_1 : vitesse de la lumière dans le milieu 1.

9.2 L'ouverture numérique d'une fibre

L'ouverture numérique (ON) d'une fibre optique est une caractéristique importante qui définit sa capacité à collecter et à guider la lumière ; elle est calculée à partir des indices de réfraction du cœur et de la gaine. Elle est donnée par la relation suivante :

$$ON = \sqrt{(n_{\text{cœur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2)} \quad (4)$$

9.3 Longueur d'onde de coupure

La longueur d'onde de coupure est la longueur d'onde λ_c en dessous de laquelle la fibre devient multimode :

$$\lambda_c = \frac{2\pi \times O_n}{V} \quad (5)$$

Avec :

O_n : L'ouverture numérique ;

V : Fréquence de coupure.

Si $V < 2,405$ Hz la fibre est monomode.

Si $V > 2,405$ Hz la fibre est multimode.

9.4 Atténuation

L'atténuation est la perte de puissance du signal lumineux au cours de sa propagation dans la fibre sur une distance L , exprimée en dB/km selon la relation :

$$\alpha(\lambda) = -\frac{10}{L} \log \left[\frac{P_s}{P_e} \right] \quad (6)$$

Avec :

L : La longueur de la fibre.

P_s : La puissance de sortie.

P_e : La puissance d'entrée.

L'atténuation limite la distance de transmission maximale d'un signal optique. Il est donc important de minimiser l'atténuation pour garantir une transmission fiable du signal. Elle varie principalement en fonction de la longueur d'onde des impulsions lumineuses. Il existe quatre phénomènes :

9.4.1 L'absorption

Le matériau de la fibre absorbe une partie de la lumière. Les principaux pics d'absorption proviennent des ions hydroxyde OH⁻, mais on a aussi :

- ▶ Absorption ultraviolette.
- ▶ L'absorption infrarouge.

9.4.2 Les pertes

- ▶ **Diffusion de RAYLEIGH** : La diffusion Rayleigh est due à la nature même du matériau qui a une structure amorphe donc on ne peut pas éviter complètement les pertes par diffusion.

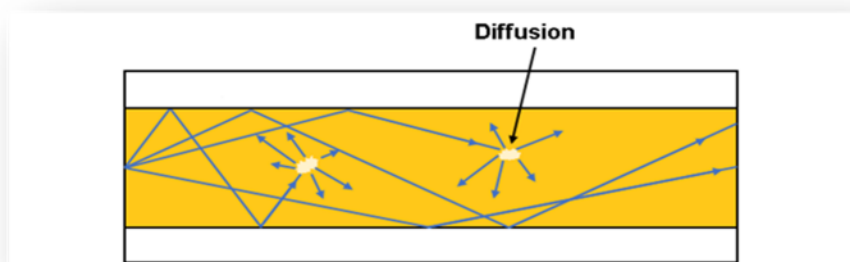


Figure 8 : Pertes dans une fibre optique par diffusion.[30]

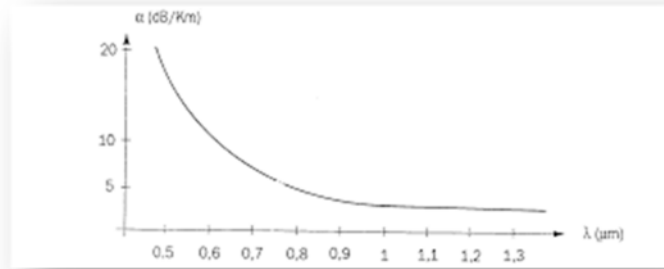


Figure 9 : Pertes dans une fibre optique par diffusion de Rayleigh.[30]

- **Pertes par courbures :** Lorsque la fibre est courbée trop fortement, les rayons seront réfractés dans la gaine, en causant une perte d'énergie.

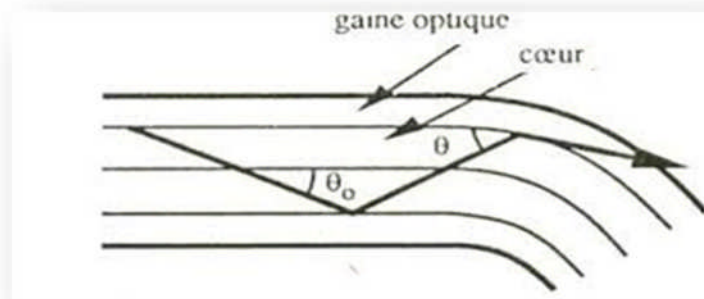


Figure 10 : Les pertes par courbure dans la fibre optique.[31]

- **Les pertes par micro-courbure :** Les micro-courbures sont de très petites déformations ou courbures présentes le long de la fibre optique, apparaissent lors de la fabrication des câbles ou lors de l'installation ou en service, entraînant des pertes de lumière.

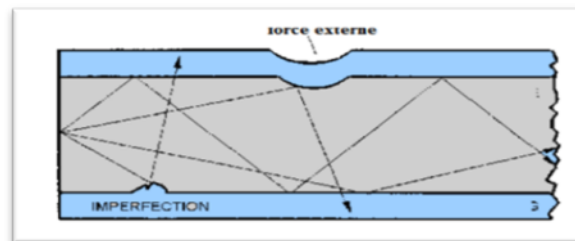


Figure 11 : Les pertes par micro courbure dans une fibre optique.[32]

- **Couplage de modes :** Correspond à un transfert d'énergie entre un mode donné et ses modes voisins pendant la propagation.

9.4.3 Les pertes d'insertion

La perte d'insertion est une atténuation de la puissance du signal optique qui se produit lorsqu'un composant est inséré dans une liaison optique.

- **Perte d'insertion par composant** : C'est la perte d'insertion due à l'insertion d'un composant optique, comme un coupleur, un filtre ou un amplificateur.

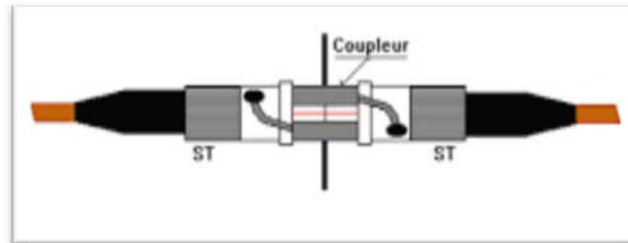


Figure 12 : couplage fibre optique.[33]

9.4.4 Les pertes lors de l'épissage

- **Variation du diamètre de cœurs** : C'est la perte due au couplage de deux fibres optiques de diamètres différents.

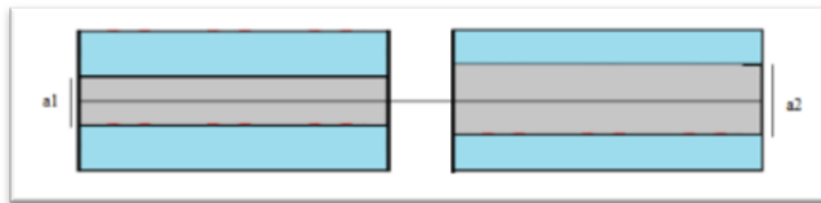


Figure 13 : couplage de deux fibres à diamètre de cœurs différents.[32]

- **Désalignement axial** : Dans cette situation, les deux axes sont parallèles, mais pas dans le même prolongement.

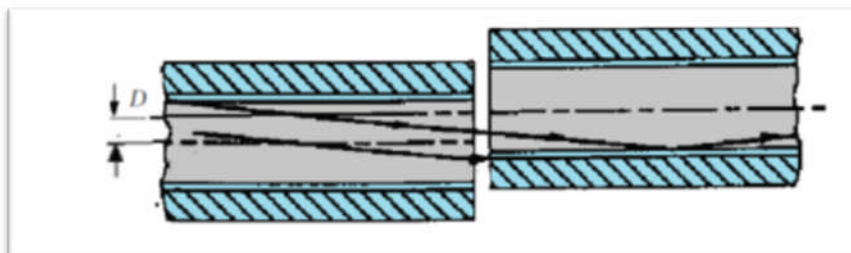


Figure 14 : couplage de deux fibres identiques ayant un décalage axial D .[32]

- **Séparation des extrémités** : Dans cette situation, les deux fibres sont identiques et alignées parfaitement. La première fibre émet une onde qui se propage librement sur une distance 'e' et qui ne convient pas au rayon de la seconde fibre.

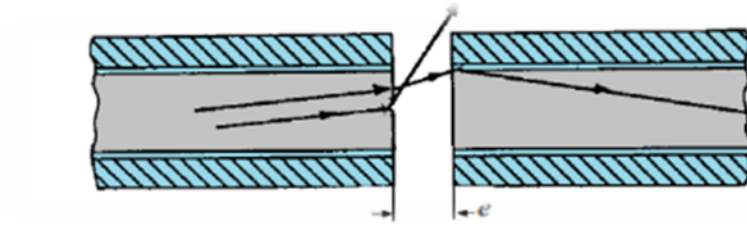


Figure 15 : couplage de deux fibres identiques séparées d'une distance e . [32]

- **Défaut d'alignement angulaire** : Les axes des deux fibres forment un angle α , ce qui entraîne une variation artificielle d'ouverture numérique.

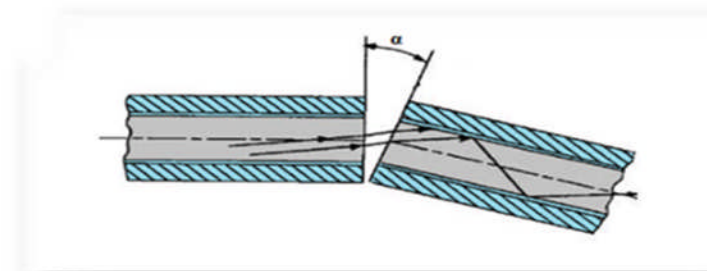


Figure 16 : couplage de deux fibres forme un angle α . [32]

9.5 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique est la fluctuation de la vitesse de propagation d'un rayon lumineux en fonction de sa longueur d'onde (Deux longueurs d'onde différentes ne se propagent pas à la même vitesse exactement). Cela signifie que le signal lumineux s'étale au fur et à mesure qu'il se propage dans la fibre, ce qui peut causer des problèmes de transmission. Elle est due à deux contributions :

9.5.1 La dispersion du matériau (D_m)

La dispersion du matériau (dispersion de l'indice de réfraction) est un phénomène qui est causé par la variation de l'indice de réfraction « n » du matériau de la fibre en fonction de la longueur d'onde « λ ».

$$D_m(\lambda) = - \frac{\lambda d^2}{c} \frac{n_{\text{coeur}}(\lambda)}{d\lambda^2} \quad (7)$$

9.5.2 La dispersion du guide (D_g)

La dispersion du guide s'explique par le fait que le confinement de la lumière ne se limite pas strictement au cœur. En réalité, les champs électrique et magnétique qui forment l'impulsion lumineuse s'étendent légèrement dans la gaine. La pénétration du champ dans la gaine dépend de la longueur d'onde.

$$D_g \approx - \frac{n_{\text{gaine}} - n_{\text{coeur}}}{c\lambda} V \frac{\theta^2 (bV)}{\theta V^2} \quad (8)$$

Avec :

$$V \frac{\theta^2 (bV)}{\theta V^2} \approx 0.08 + 0.054395(2.834 - V)^2$$

Donc la dispersion chromatique totale est la somme des deux :

$$D = D_m + D_g$$

Remarque : dans le cas de deux fibres, la loi de dispersion est de la forme :

$$D_1 L_1 + D_2 L_2 = 0 \quad (9)$$

Avec :

D_1 : Dispersion de la 1^{ere} fibre.

D_2 : Dispersion de 2^{eme} fibre.

L_1 : La longueur de 1^{ere} fibre.

L_2 : La longueur de 2^{eme} fibre.

9.6 Non-linéarité

La silice utilisée dans les fibres optiques, malgré leurs faibles effets non linéaires, mais qui peuvent être observés dans les fibres monomodes à des puissances relativement peu élevées. Les effets non linéaires entraînent l'apparition de seuils de puissance au-delà desquels des perturbations se manifestent dans la transmission. Quatre effets non linéaires principaux sont identifiés : l'effet Kerr, caractérisé par une dépendance de l'indice de réfraction à l'intensité du signal [9]; l'effet Raman, impliquant un transfert d'énergie entre ondes optiques et vibrations moléculaires [10]; la diffusion stimulée Brillouin (SBS), résultant de l'interaction entre ondes optiques et acoustiques et la propagation des solitons, des impulsions non linéaires se propageant sans déformation. Actuellement, l'intérêt des solitons en télécommunications a perdu de leur intérêt en raison de solutions moins complexes.

9.7 La bande passante

Elle correspond à la fréquence de transmission maximale des impulsions. La bande passante pour une longueur « L » de la fibre est :

$$BP = \frac{L}{\Delta\tau_1 + \Delta\tau_2} \quad (10)$$

Avec :

$\Delta\tau_1$: Le retard temporel entre le rayon le plus incliné ($\theta = \theta_c$) et le rayon parallèle à l'axe ($\theta = 0^\circ$).

$\Delta\tau_2$: Le retard temporel résultant d'une variation de la longueur d'onde en fonction de l'indice due à la dispersion intrinsèque du matériau.

9.8 Débit de transmission

Le débit de transmission, représente la quantité d'information numérique qui peut être transmise par une fibre optique pendant un temps donné, exprimé généralement en bits par seconde (bit/s). Les systèmes sous-marins dernière génération atteignent actuellement des débits record de plusieurs Tbits/s sur des milliers de km.

Facteurs influençant le débit de transmission :

- ▶ **La qualité de la fibre** : les fibres de haute qualité permettent de transmettre des signaux sur de plus grandes distances et à des débits plus élevés.
- ▶ **La longueur d'onde** : Les fibres optiques peuvent transmettre des signaux lumineux à différentes longueurs d'onde. La longueur d'onde utilisée peut affecter le débit de transmission.
- ▶ **La dispersion chromatique** : ce phénomène peut entraîner une distorsion des signaux à l'intérieur de la fibre et réduire la bande passante.
- ▶ **Les pertes optiques** : les pertes optiques se produisent lorsqu'une partie du signal lumineux est perdue lors de la propagation à travers la fibre optique, et ces pertes peuvent réduire le débit de transmission.

Remarque :

- Les débits de transmission atteignables dans les fibres optiques monomodes sont de l'ordre de 100 Gbits/s à 1 Tbits/s.
- Les débits de transmission atteignables dans les fibres optiques multimodes sont de l'ordre de 10 Gbits/s à 100 Gbits/s.

10 Les connecteurs fibre optique

- ▶ **Connecteur ST (Straight Tip)** : Les connecteurs ST sont utilisés généralement pour les fibres multimodes. Sa fêrle en céramique protège la fibre optique et assure un alignement précis du cœur lors de la connexion. Il possède un système de verrouillage à baïonnette qui garantit le verrouillage du connecteur grâce à la pression et à la rotation et empêche le débranchement accidentel. Les pertes de connexion sont légèrement supérieures à celle des connecteurs plus récents.



Figure 17 : Connecteur optique ST. [15]

- ▶ **Connecteur SC (Standard Connector) :** Le connecteur SC (Standard Connector) offre un excellent rapport qualité-prix par sa simplicité et sa durabilité. Le profil carré autorise des densités de connexion plus élevées. Leurs embouts en céramique nous permettent de coupler avec un alignement précis.

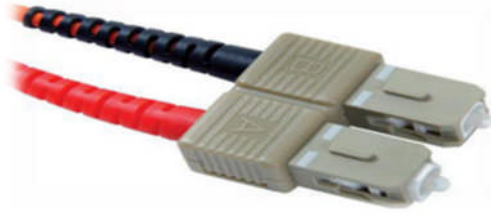


Figure 18 : Connecteur optique SC. [15]

- ▶ **Connecteur optique FC (Ferrule Connector) :** Les connecteurs FC sont utilisés généralement dans les fibres monomodes, C'est un connecteur de haute précision à embout céramique.



Figure 19 : Connecteur optique FC. [15]

- ▶ **Connecteur optique LC (Lucent Connector) :** Les connecteurs LC sont des mini connecteurs SC, ils ont les mêmes propriétés que les connecteurs SC, mais beaucoup plus petits. En général, ils sont utilisés dans les endroits difficiles d'accès.



Figure 20 : Connecteur optique LC. [15]

10.1 Caractéristiques des connecteurs fibre optique

Les caractéristiques essentielles d'une conception de connecteur de qualité sont :

- Faible perte d'insertion
- Perte de retour élevée
- Facilité d'installation
- Faible cout
- Faible sensibilité environnementale
- Facilité d'utilisation

11 Conclusion

Au terme de cette étude approfondie sur la fibre optique, il apparaît clairement que cette technologie révolutionnaire joue un rôle essentiel dans l'évolution des télécommunications modernes.

La fibre optique est loin d'avoir atteint ces limites. Les perspectives de recherche futures sont nombreuses et prometteuses. Ces avancées pourraient non seulement améliorer les performances des systèmes existants, mais aussi ouvrir la voie à des applications encore inimaginables.

Chapitre II : La chaîne de transmission optique

1 Introduction

La communication optique consiste à transmettre une information sous une forme lumineuse d'une source vers une destination.

Ce chapitre est consacré en premier lieu à l'étude d'un système de transmission optique. Nous allons voir d'une manière globale les différents modules de ce système et détailler les éléments qui composent chaque bloc. Suivie par une présentation des différentes techniques de transmission et d'accès multiple employées en communication optique.

2 Structure d'une liaison de transmission optique

En pratique, un circuit de transmission optique est très sophistiqué, cependant tous les systèmes ont une structure semblable basée sur des liaisons point à point (Figure 21) constitué essentiellement de deux modules Emetteur/Récepteur, relié par un canal de transmission (support optique).

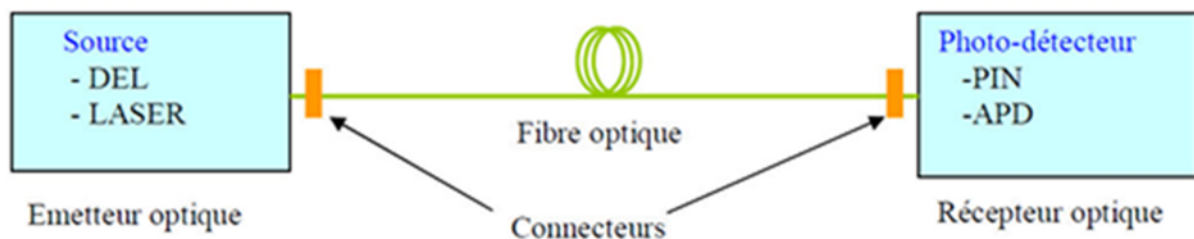


Figure 21 : Modules d'un circuit de transmission optique.[17]

- **Emetteur optique** : effectue une conversion électro-optique du signal à transmettre.
- **La fibre optique** : support de transmission qui achemine le signal qui renferme l'information à transmettre de l'émetteur vers le récepteur.
- **Récepteur optique** : effectue une conversion opto-électrique du signal reçu.

2.1 Bloc d'émission

Le dispositif d'émission est un élément clé en communication optique. Il permet une conversion des signaux électriques (données numériques) en signaux lumineux (faisceau lumineux modulé) pour être injecté et transporté à travers un support optique.

Ce processus de conversion électro-optique comprend généralement une source lumineuse (laser ou LED) qui génère un faisceau lumineux continu, et un système de modulation qui varie les caractéristiques de ce faisceau (intensité, phase, fréquence) en fonction des données à transmettre.

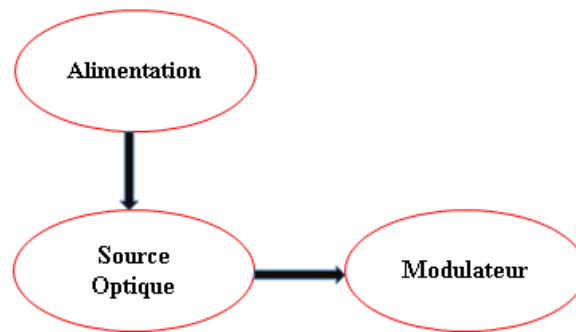


Figure 22 : Schéma d'un émetteur optique.

2.1.1 Source optique

Les sources optiques jouent un rôle primordial en transmission optique. Elles sont conçues pour générer des signaux lumineux à partir de signaux électriques, porteurs de l'information. Ce processus, appelé conversion électro-optique, permet de transmettre des données de manière efficace et sur de longues distances. [14]

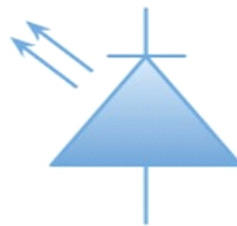


Figure 23 : Symbole d'une source optique.

Deux principales technologies sont utilisées pour générer de la lumière et transmettre les données en optique :

- La diode électroluminescente (DEL).
- La diode laser (DL).

2.1.1.1 Diode électroluminescente DEL

Une diode électroluminescente est un composant électronique qui convertit directement l'énergie électrique en lumière visible. En d'autres termes, lorsqu'un courant électrique traverse une DEL, elle émet de la lumière. Ce phénomène est rendu possible grâce à la recombinaison d'électrons et de trous au sein d'un matériau semi-conducteur.

Une LED est constituée principalement d'une jonction PN. Cette jonction est une interface entre une région de type P (dopée avec des trous) et une région de type N (dopée avec des électrons) d'un matériau semi-conducteur.

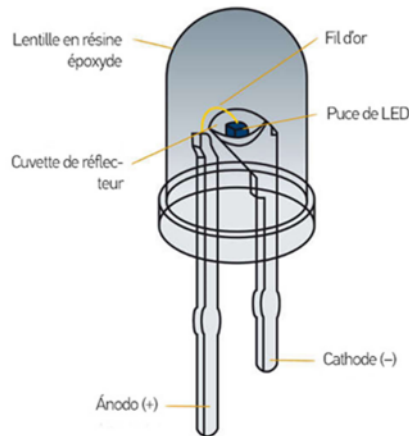


Figure 24 : Diode LED.[34]

Mode de fonctionnement :

- **Polarisation directe:** une tension électrique est appliquée aux bornes de la LED, les électrons de la région N sont injectés dans la région P, tandis que les trous de la région P sont injectés dans la région N.
- **Recombinaison électron-trou:** au niveau de la jonction PN, les électrons et les trous se rencontrent et se recombinent, libérant de l'énergie sous forme de photons
- **Émission de lumière:** L'énergie de ces photons correspond à la différence d'énergie entre la bande de conduction et la bande de valence du matériau semi-conducteur.

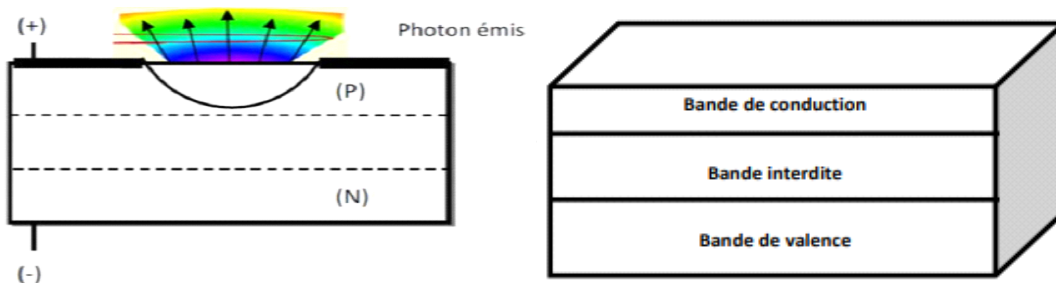


Figure 25 : Mode de fonctionnement d'une LED.[15]

2.1.1.2 Diode Laser DL

La diode laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est un dispositif émettant un faisceau lumineux cohérent et monochromatique obtenue grâce à un phénomène quantique appelé "émission stimulée".

Elle offre des performances inégalées en termes de bande passante et de largeur spectrale, pour transmettre des données à très haut débit sur de longues distances.[14]

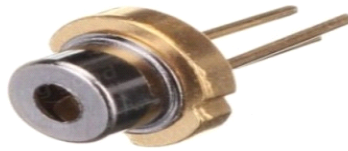


Figure 26 : Diode Laser.

Son fonctionnement repose sur trois phénomènes quantiques fondamentaux :

- **Absorption** : un électron d'un atome peut absorber un photon et passer à un niveau d'énergie supérieur.[16]
- **Emission spontanée** : un électron excité est instable, il retourne spontanément à son niveau d'énergie initial en émettant un photon dans une direction aléatoire.[16]
- **Émission stimulée** : Sous l'action d'un photon incident, l'électron excité est forcé de retourner à son niveau d'énergie initial, émettant ainsi un photon identique au photon incident. C'est ce phénomène d'amplification de la lumière par émission stimulée qui caractérise le laser.[16]

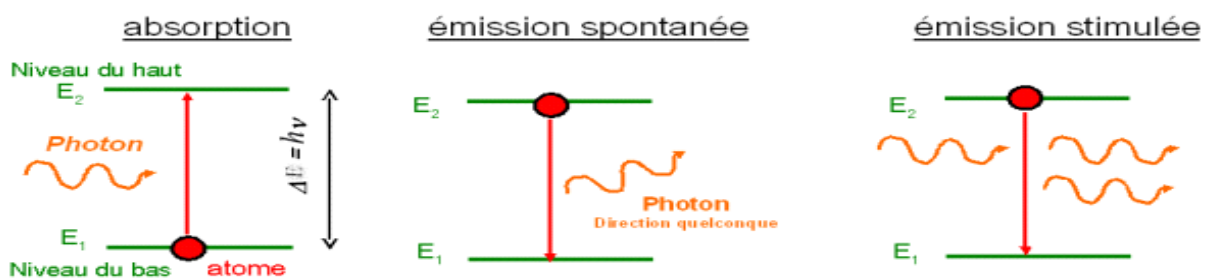


Figure 27 : Phénomènes d'absorption, émissions spontanées et stimulées.[16]

2.1.2 Modulateurs optiques

La transmission de données via media optique nécessite une conversion préalable des informations, initialement sous forme de signaux électriques en signaux lumineux. Cette opération, essentielle pour adapter les informations au support de transmission, est réalisée grâce à la modulation optique.[11]

Un modulateur est un composant électronique qui adapte les signaux électriques aux caractéristiques de la fibre optique en modifiant l'amplitude et/ou la phase de l'onde lumineuse.

Deux techniques de modulation sont principalement utilisées :

- La modulation directe
- La modulation externe

2.1.2.1 Modulation directe

La modulation directe consiste à faire varier directement l'intensité lumineuse d'une source optique (diode laser) en fonction du courant électrique d'alimentation. On utilise le signal électrique pour contrôler l'intensité de la lumière émise.[19]

Cette méthode simple et efficace permet de convertir des signaux électriques en signaux optiques. Ce signal optique modulé, qui porte l'information initiale, est ensuite transmis à travers une fibre optique.

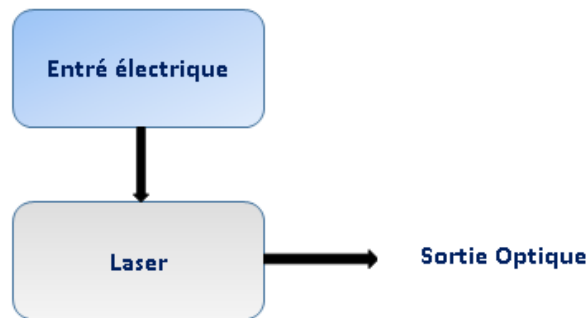


Figure 28 : Schéma synoptique de la modulation directe.

La modulation directe est bien adaptée aux applications à faible débit, mais présente des limitations en termes de bande passante et de qualité du signal. Pour les applications à haut débit, la modulation externe est privilégiée.[19]

2.1.2.2 Modulation externe

La modulation externe est utilisée pour encoder des données numériques sur une porteuse optique après son émission par une source laser, elle agit sur le faisceau directement plutôt que sur la source laser. Un modulateur externe, soumis à un signal électrique porteur de l'information, modifie les propriétés du signal lumineux (amplitude, phase ou fréquence) en fonction des données à transmettre. [20]

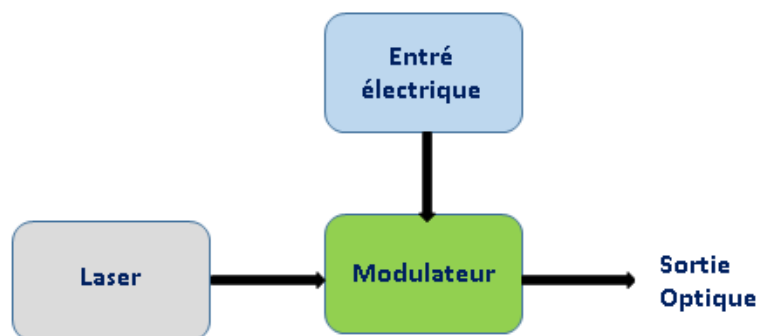


Figure 29 : Schéma synoptique de la modulation externe.

En haut débit, deux modulateurs externes sont couramment utilisés :

- Modulateur électro-optiques (Mach-Zehnder)
- Modulateur électro-absorption (EAM).

2.2 Composants de la ligne de transmission

Après avoir été émis par la source et modulé en fonction du format requis, le signal optique est injecté dans le support optique pour entamer une propagation sur des distances significatives. [21]

Bien que la fibre optique présente très peu d'atténuation comparé aux autres media de communication, le message véhiculé devient progressivement indétectable au-delà d'une certaine distance. Pour pallier cela, on a recours à des dispositifs appelés amplificateurs.

2.2.1 Les amplificateurs optiques

Lors de la transmission, la lumière transportant l'information s'affaiblit progressivement à mesure qu'elle parcourt la fibre. Cette atténuation, due à la fibre et aux différents composants optiques, limite la distance de transmission. Pour pallier ces pertes et maintenir une qualité de signal suffisante, il est nécessaire d'amplifier régulièrement le signal lumineux avant qu'il ne devienne trop faible pour être détecté. [14]

La restauration des signaux sera réalisée grâce à un un amplificateur optique dont la fonction fondamentale est de produire un maximum de gain sous forme optique. Son rôle consiste à amplifier les signaux optiques, tout en préservant l'intégrité du contenu transmis.

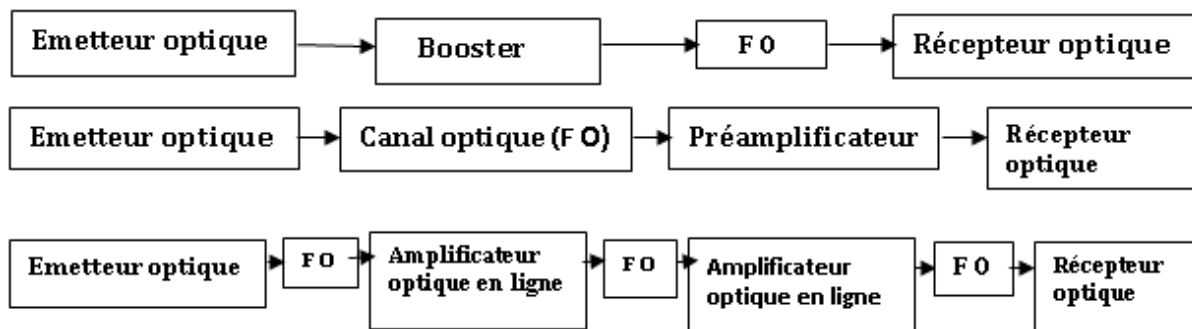


Figure 30 : Différents amplificateurs dans un système de communication.

Selon leur position, les amplificateurs optiques jouent des rôles spécifiques dans circuit de transmission :

- **Post-amplificateur (booster) :** Situé en sortie de l'émetteur, il augmente la puissance du signal initial pour lui permettre de parcourir de longues distances. [14]
- **Préamplificateur :** Placé à l'entrée du récepteur, il amplifie le signal affaibli par la transmission, permettant ainsi au récepteur de le détecter de manière fiable, même en présence de bruit. [14]
- **Amplificateur en ligne :** Inséré à intervalles réguliers le long de la fibre optique, il régénère le signal en cours de route, pour maintenir la qualité du signal et assuré une transmission sur de longues distances. [14]

2.2.2 Amplificateur optique à semi-conducteur (AOSC)

Un amplificateur optique à semi-conducteur (SOA) est un composant qui permet d'amplifier l'intensité des signaux lumineux incidents. Son fonctionnement repose sur l'amplification par émission stimulée, un principe similaire à celui du laser. Cependant, il se distingue par l'absence de cavité optique, pour minimiser les réflexions internes.

Un SOA est constitué d'un matériau semi-conducteur dopé, dans lequel les électrons sont excités par un courant électrique. Lorsqu'un photon pénètre dans ce milieu, il stimule l'émission d'autres photons de même énergie, amplifiant ainsi le signal lumineux initial.[14]

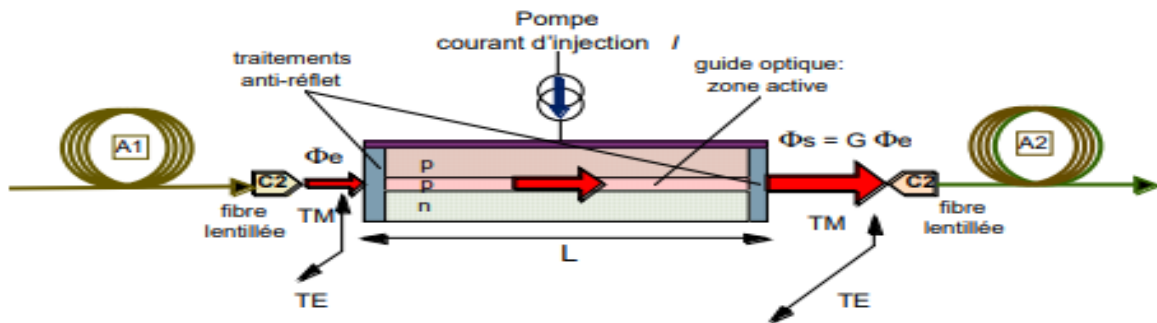


Figure 31 : Schéma d'un amplificateur optique à semi-conducteur.[11]

2.2.3 Amplificateur optique à fibre dopée Erbium (EDFA)

L'EDFA est un amplificateur optique qui utilise une fibre spéciale dopée aux ions erbium pour renforcer le signal lumineux. Il fonctionne en exploitant le principe de l'émission stimulée, les ions erbium, lorsqu'ils sont excités par une source lumineuse externe (pompe laser), émettent de la lumière à une longueur d'onde spécifique (1,55 μm) ce qui permet d'amplifier le signal optique initial qui traverse la fibre pour le transmettre sur de longue distance sans affaiblissement.[14]

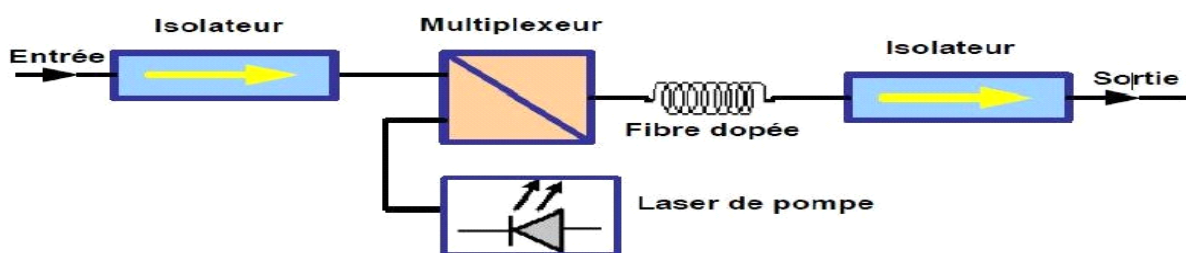


Figure 32 : Composant d'un amplificateur EDFA.[14]

Les composants clé d'un amplificateur EDFA (figure 32) sont :

- La fibre dopée
- La pompe laser
- Le multiplexeur
- L'isolateur

2.2.4 Amplificateur Raman

L'amplificateur Raman est un dispositif optique qui permet d'augmenter l'intensité d'un signal lumineux en exploitant un phénomène physique appelé diffusion Raman. Il repose sur l'interaction non linéaire entre deux ondes lumineuses. Un photon de pompe, de haute énergie, cède une partie de son énergie à un photon de signal, de plus basse énergie. Ce transfert d'énergie entraîne l'amplification du signal directement dans la fibre de transmission. Bien que le gain obtenu soit appréciable, il est souvent limité par la dégradation du rapport signal à bruit, notamment pour de fortes amplifications.

2.3 Bloc de réception

Après un long parcours à travers un réseau de fibres optiques et d'amplificateurs, le signal lumineux porteur de l'information, atteint finalement le récepteur. Ce dernier a pour mission de capter ce signal lumineux, souvent très faible et dégradé par la propagation, de le convertir en un signal électrique et d'extraire l'information qu'il contient. Ce processus, inverse de la modulation est réalisée principalement grâce à un photodétecteur, il permet de récupérer l'information initiale transmise sous forme de lumière.[14]

2.3.1 Le photodétecteur

Un photodétecteur est un composant électronique hautement sensible à la lumière qui joue un rôle primordial dans la chaîne de réception, conçu pour convertir l'énergie lumineuse en un signal électrique, permettant ainsi de récupérer les données codées dans ce signal lumineux avec le moins de détérioration possible.[18]



Figure 33 : Symbole du photodétecteur.

2.3.2 Principe de la photodétection

Dans son principe, la lumière est transmise par la fibre optique pénètre dans le détecteur, constitué d'une photodiode à base de matériaux semi-conducteurs. Absorbés, ces photons peuvent provoquer la transition d'électrons d'un état de la bande de valence à un état plus élevé de la bande de conduction. Dans cette dernière, les électrons moins liés sont plus ou moins libres de se déplacer dans la structure. Chaque photon va donc laisser place à une paire électron-trou. Seuls les photons d'énergie E_g égale ou supérieure à la hauteur de bande interdite du semi-conducteur sont absorbés, créant ainsi ces paires d'électrons-trous.

Afin d'empêcher l'électron de retomber dans son état le plus stable, une différence de potentiel est appliquée. Sous l'effet du champ électrique, les deux catégories de porteurs sont séparées et entraînées vers des zones où ils sont majoritaires (nommées P ou N). Les porteurs ainsi générés sont alors recueillis sous forme de photo courant. [22]

2.3.3 Types de photodétecteurs

Les types de photodiodes employés majoritairement en télécommunications sont :

- Les Photodiodes PIN.
- Les Photodiodes à avalanche APD.

2.3.3.1 Photodiode PIN

Une photodiode PIN est un dispositif qui transforme l'énergie lumineuse en un courant électrique. Constituée d'une jonction PN avec une vaste zone intrinsèque (I), son concept repose sur le principe de la photoconductivité : lorsqu'elle est exposée à la lumière, les photons créent des paires électron-trou dans la région intrinsèque, générant ainsi un courant électrique relatif à l'intensité lumineuse incidente. Ce courant photoélectrique peut être amplifié et traité pour obtenir une de la lumière.[23]

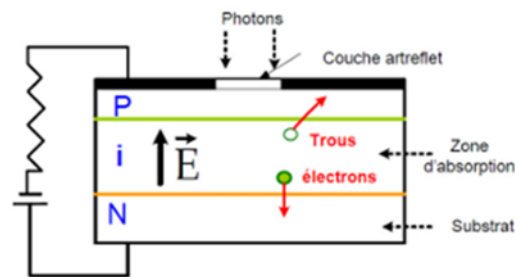


Figure 34 : Structure de base d'une photodiode PIN.[17]

2.3.3.2 Photodiode à Avalanche (ADP)

Une photodiode à avalanche est un détecteur de lumière de structure PIN qui exploite un phénomène d'amplification interne pour convertir et amplifier les signaux lumineux incidents. Son principe de fonctionnement repose sur l'ionisation par impact et la multiplication en avalanche des porteurs de charge.

Lorsqu'un photon est absorbé dans la jonction PIN, il crée une paire électron-trou. Sous l'effet du champ électrique, ces porteurs peuvent ioniser d'autres atomes. Ce qui déclenche une réaction en chaîne qui multiplie le nombre de porteurs initiaux. Cette multiplication en cascade, appelée avalanche, permet d'amplifier considérablement le signal lumineux initial. [23]

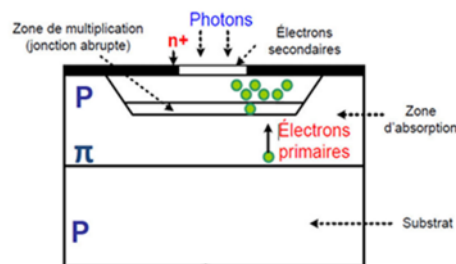


Figure 35 : Schéma d'une photodiode APD.[17]

2.3.4 Caractéristiques d'un photodétecteur

Un photodétecteur est caractérisé par :

- **Rendement quantique (η)** : correspond au pourcentage de photons incidents convertis en électrons. Un rendement élevé entraîne une sensibilité accrue du détecteur.[18]
- **Coefficient d'absorption** : dépendant de la longueur d'onde de la lumière incidente et du matériau du photodétecteur, Décrit la profondeur de pénétration de la lumière dans le matériau. Plus le coefficient est élevé, plus la lumière est absorbée près de la surface.[18]
- **Sensibilité (S)** : définissant le rapport du photocourant sur la puissance optique recue, exprimée en ampère par watt (A/W).
- **Bande passante** : définit la plage de fréquences que le photodétecteur peut traiter efficacement.
- **Bruit** : correspond à des fluctuations aléatoires du signal de sortie, indépendantes du signal lumineux incident. [24]

3 Techniques de transmission et de multiplexage en optique

3.1 Le multiplexage temporel TDM

Le multiplexage TDM (Time Division Multiplexing) affecte l'intégralité du débit disponible à un seul utilisateur durant un court laps de temps et à tour de rôle pour l'ensemble des usagers. Un intervalle de temps est attribué à chaque usager pour transmettre, période pendant laquelle l'intégralité des ressources lui sont allouer. [11]

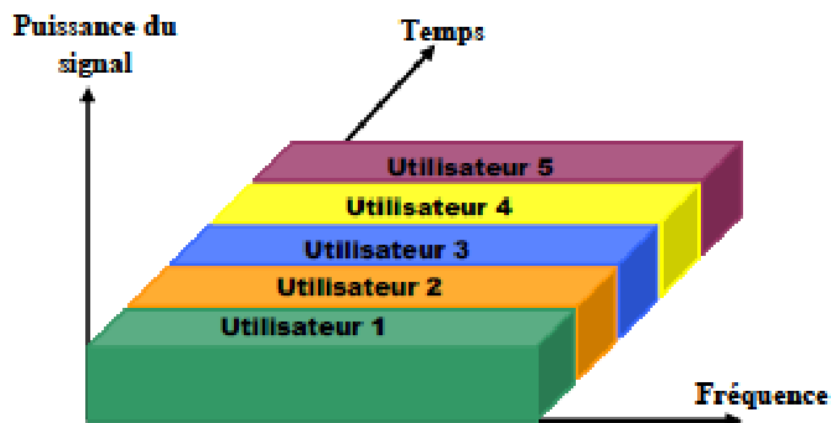


Figure 36 : Principe d'un multiplexage temporel.[18]

La TDM regroupe plusieurs canaux de communications à faible débit pour les transmettre successivement sur la même voie les uns après les autres avec un débit accru. [11]

3.1.1 Multiplexage temporel optique (OTDM)

Le multiplexage OTDM (Optical Time Division Multiplexing) repose sur les mêmes principes que le multiplexage TDM, la différence réside dans la nature du support de transmission (fibre optique) ce qui signifie que le signal contenant le flux d'information est transmis sur une porteuse optique. De cette manière, il est possible de dépasser les limitations de la bande passante des composants électroniques et optoélectroniques et d'augmenter les débits de transmission. [25]

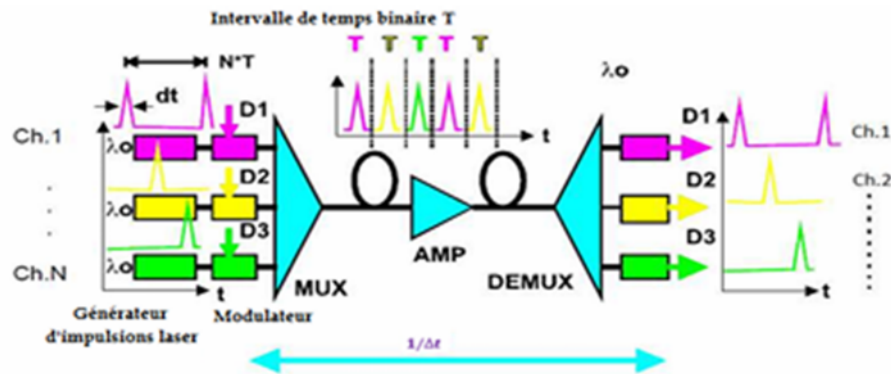


Figure 37 : Principe du multiplexage OTDM.[25]

3.1.2 Multiplexage temporel électronique (ETDM)

En ce qui concerne le multiplexage ETDM (Electronic Time Division Multiplexing) le codage et l'assemblage des informations sont effectués de manière électrique. Le débit obtenu sert à réguler le courant de polarisation de la diode laser, ce qui entraîne une émission unique de lumière. [11]

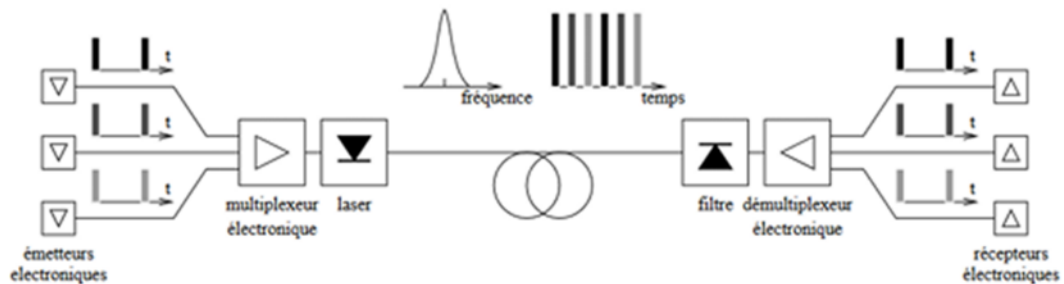


Figure 38 : Schéma de principe de l'ETDM dans les communications par fibre optique.[11]

Dans l'ETDM il est nécessaire que le modulateur optique fonctionne avec le débit du signal qui sort du multiplexeur et au débit des données transmises. [14]

3.2 Le multiplexage en longueurs d'onde WDM

Le WDM (Wavelength Division Multiplexing) est une technique de multiplexage qui permet la propagation simultanée de plusieurs flux de données sur le même support optique en utilisant diverses sources lumineuses avec des longueurs d'ondes légèrement différentes, pour transporter un flux à très haut débit sur de longue distance et sans perturbations ni interférences.

On affecte à chaque utilisateur une longueur d'onde spécifique qui permet de différencier les données qui le concernent. A la réception, il suffit de dissocier ces longueurs d'onde et de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques originaux. [14]

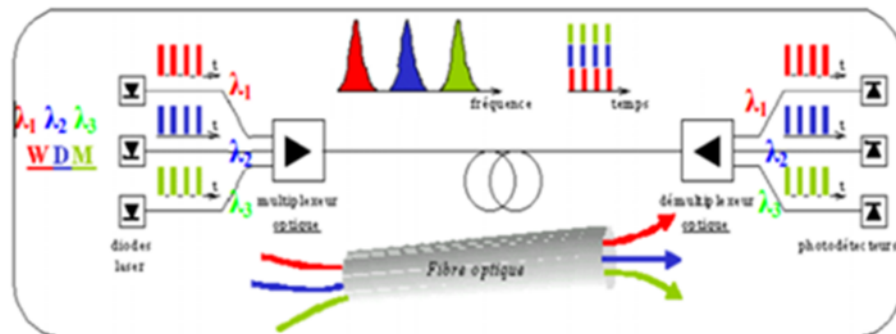


Figure 39 : Principe du multiplexage de longueur d'onde.[27]

3.3 Le multiplexage par répartition de code optique OCDMA

L'OCDMA (Optical Code Division Multiple Access) est une technique d'accès multiple basé sur la CDMA radiofréquence. Elle permet à de multiples usagés de transmettre en simultanément sur un même support de transmission optique, un code (temporel ou spectral) unique à chaque usagée permet de distinguer les canaux des différents utilisateurs. Le multiplexage OCDM nécessite l'emploi d'un récepteur adéquat pour différencier l'information entre les différents utilisateurs. [26]

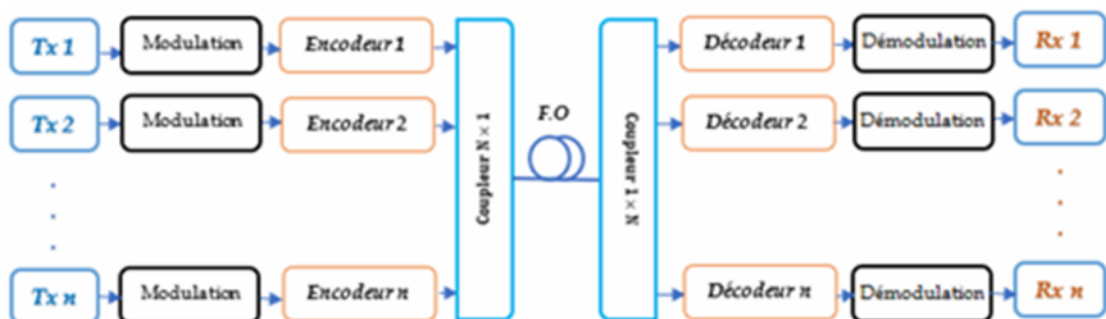


Figure 40 : Schéma de principe d'une liaison OCDMA.[25]

4 Conclusion

On a étudié dans ce chapitre la structure de la chaîne de télécommunication optique et résumé son principe de fonctionnement. On a débuté par un examen approfondie des divers éléments de la partie émission et réception ainsi que le support de transmission utilisé. Enfin, nous avons présenté les différentes méthodes d'accès multiple appliquées aux transmissions optiques.

Chapitre III : Aperçu de la technologie SDH

1 Introduction

Dans l'univers en constante évolution des télécommunications, la Hiérarchie Numérique Synchrones (SDH) occupe une place prépondérante depuis plusieurs décennies. Développée dans les années 1980 et standardisée au début des années 1990, cette technologie a révolutionné la transmission de données sur les réseaux à longue distance, offrant une solution robuste et efficace pour le transport de voix, données et de vidéo.

La SDH, conçu comme une évolution des systèmes de transmission asynchrones précédents, a apporté des avancées significatives en termes de capacité, de fiabilité et de gestion de réseau. Son adoption à l'échelle mondiale a permis l'interconnexion des réseaux de télécommunications, contribuant ainsi à l'essor de la communication globale que nous connaissons aujourd'hui.

2 La Hiérarchie Numérique Plésiochrone (PDH)

La PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) appelée en raison des horloges plésiochrones est une technologie de transmission numérique utilisée dans les réseaux de télécommunications pour véhiculer les voies téléphoniques. Elle est basée sur le multiplexage temporel en définissant des jonctions MIC à 2 Mb/s, entre les points du réseau de l'opérateur, accueillant trente-deux circuits à 64 Kbit/S. Les débits de cette hiérarchie ont été créés par le multiplexage des circuits sur plusieurs niveaux : 2 E1, 8 E2, 34 E3, 140 E4...etc.

Le terme "plésiochrone" signifie "presque synchrone". Contrairement à la PDH, la SDH offre une synchronisation précise de tous les éléments du réseau sur une horloge de référence commune.

2.1 Limite du système numérique PDH

L'inconvénient de la PDH est que le multiplexage se fait bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l'accès aux niveaux inférieurs sans démultiplexage, il faut démultiplexer l'ensemble des différents ordres de multiplexage pour extraire un signal. Ainsi qu'une absence de normalisation au niveau de C.C.I.T.T, ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes.

Pour pallier à ces problèmes une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour: la "Hiérarchie Numérique Synchrones" ou "synchronous Digital Hierarchy" (SDH en Europe et SONET aux USA).

3 La Hiérarchie Numérique Synchrones SDH

La hiérarchie SDH situé sur les couches 1 et 2 du modèle OSI (norme de communication des systèmes informatiques en réseau). Cette technologie synchrone offre la possibilité de transmettre dans la même trame des services de types et de débits différents en synchronisme avec l'horloge de référence sur fibre optique. [28]

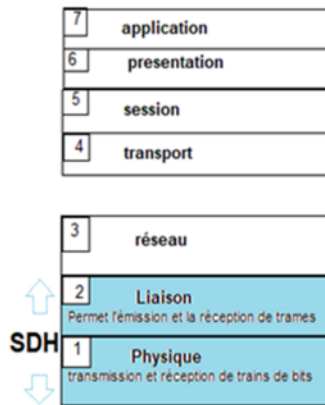


Figure 41 : Position de la hiérarchie SDH dans le modèle OSI

L'évolution de la SDH (Hiérarchie Numérique Synchronisée) trouve ses racines dans les principes du Réseau Optique Synchronisé (SONET), proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes de la SDH se sont concrétisées en novembre 1988 à Melbourne par le CCIT (Comité Consultatif International du Téléphone et Télégraphe). Ces standards, identifiés par les références G707, G708 et G709, définissent les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

- **G.707** : Synchronous digital bit rate (Débit binaire de la SDH).
- **G.708** : Network Node Interface for the synchronous digital hierarchy (Interface de nœud de réseau pour la SDH).
- **G.709** : Synchronous multiplexing structure (Structure de multiplexage synchronisée).

A titre d'exemple, le nombre de communications téléphoniques simultanées qui peuvent être transmises avec un codage de la parole à 64 Kb/s, est de :

- 30 : pour un 2 Mb/s.
- 1890 : pour un 155 Mb/s.
- 30240 : pour un 2.5 Gb/s.
- 120960 : pour un 10 Gb/s.

3.1 Comparaison entre la PDH et la SDH

Les principales différences entre le PDH et le SDH sont :

A. Synchronisation

- PDH : Utilise une synchronisation approximative (plesiochrone). Les différents flux de données peuvent avoir de légères variations de fréquence.
- SDH : Utilise une synchronisation précise. Tous les éléments du réseau sont synchronisés sur une horloge de référence commune.

B. Structure de trame

- PDH : Structure de trame complexe et rigide, rendant difficile l'accès aux canaux individuels.

- SDH : Structure de trame plus flexible, permettant un accès facile aux canaux individuels sans démultiplexage complet.

C. Capacité de transmission

- PDH : Limité à des débits plus faibles (jusqu'à 140 Mbps pour la norme européenne).
- SDH : Offre des débits beaucoup plus élevés (jusqu'à 10 Gbps et au-delà).

D. Gestion de réseau

- PDH : Capacités de gestion de réseau limitées.
- SDH : Intègre des fonctionnalités avancées de gestion de réseau, permettant une surveillance et un contrôle plus efficaces.

E. Interopérabilité

- PDH : Différentes normes selon les régions (Amérique du Nord, Europe, Japon), limitant l'interopérabilité.
- SDH : Norme internationale unique, facilitant l'interopérabilité entre équipements de différents fabricants.

F. Efficacité de multiplexage

- PDH : Processus de multiplexage/démultiplexage complexe et inefficace.
- SDH : Multiplexage plus efficace, permettant l'ajout ou le retrait de canaux sans démultiplexage complet.

G. Fiabilité et résilience

- PDH : Mécanismes de protection limités.
- SDH : Intègre des mécanismes de protection et de restauration avancés, améliorant la fiabilité du réseau.

Bien que le PDH ait été une technologie pionnière dans la transmission numérique, le SDH a apporté des améliorations significatives en termes de performance, de flexibilité et de gestion. Le SDH a largement remplacé le PDH dans les réseaux de transmission modernes

4 Principe de fonctionnement de la SDH

4.1 Constitution des trames SDH

La technologie SDH, a été spécialement élaboré pour fonctionner sur les infrastructures de fibre optique et offre des débits de transmission exceptionnellement élevés permettant de réserver une capacité significative pour la gestion du réseau, l'exploitation, la maintenance et la mise en service. Chaque niveau d'encapsulation d'un réseau SDH possède ses propres méthodes de gestion. Certaines informations appelées "bourrage" sont intégrées uniquement pour la synchronisation.

4.2 Structure de la trame de base STM-1

Les caractéristiques de la trame de base STM-1 (Synchronous Transport Module 1), sont les suivantes :

- **Taille** : 2430 octets, composés de 9 rangées et 270 colonnes, les 9 premiers octets contiennent des informations sur la gestion du réseau et les 261 autres octets contiennent les informations à transmettre.
- **Durée** : Est de 125 μ sec (synchronisation sur le 8 kHz, contrainte vocale) et qui représente donc un débit de 155 Mbit/s. La trame contient les informations suivantes :
 - **La capacité utile** : est l'information utile.
 - **Le surdébit de section (SOH : Section Over Head)** : Le SOH est conçue pour l'exploitation et se devise en deux niveaux de gestion le RSOH et le MSOH.
 - **Les pointeurs (PTR)** : Son rôle est d'indiquer la position effective du début de l'information utile dans la trame.

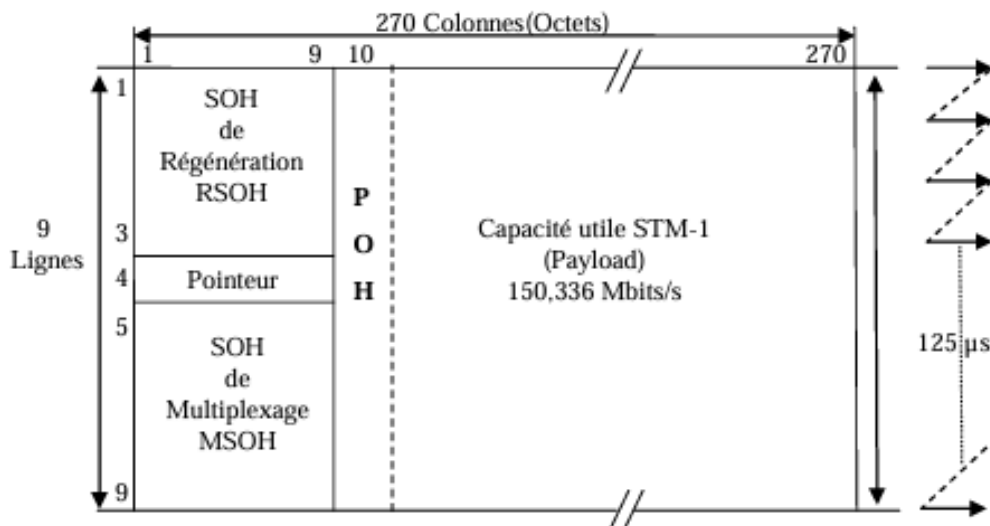


Figure 42 : Structure de la trame de base STM-1. [28]

4.2.1 RSOH (Régénération Section Over Head)

Son rôle est de communiquer avec/entre les régénérateurs, Il est composé des rangés 1 à 3 du SOH.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	NU	NU
2	B1	X	X	E1	X	X	F1	NU	NU
3	D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X

Figure 43 : Représentation des octets du RSOH. [28]

4.2.2 MSOH (Multiplex Section Over Head)

Son rôle est de communiquer avec/entre les multiplexeurs. Il est constitué des rangés 5 à 9 du SOH.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
6	D4	X	X	D5	X	X	D6	X	X
7	D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
8	D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
9	S1	X	X	X	X	M1	E2	NU	NU

Figure 44 : Représentation des octets du MSOH. [28]

4.2.3 Le pointeur (PTR)

Son rôle est de déterminer la position de la charge utile par rapport à celle de la trame (STM-n). Cela facilite l'identification des affluents et en permettant l'accès direct sans nécessiter de passer par le démultiplexage. Le pointeur signale et compose ces différences en utilisant une méthode de justification négative, positive ou nulle dans le cas des fluctuations ou glissement de l'information transportée (charge utile).

Donc, le pointeur permet de prendre en considération à la fois :

- Le décalage du VC par rapport au début de la capacité utile.
- Les différences de débit entre le VC-4 et la capacité utile de la trame de base.

4.2.4 POH (Path Over Heads)

Il permet la gestion des voies de communication entre les divers éléments du réseau en traçant le chemin que les données doivent suivre pour arriver à leur destination. Le POH contient aussi des informations concernant la surveillance de la qualité des signaux d'alarme et de maintenance à distance, à la qualité du signal transmis et à la structure du multiplexage.

4.3 Multiplexage SDH

Dans la norme SDH, les niveaux sont classés de manière hiérarchique en STM-n (Module de Transport synchrone, niveau n). En ce qui concerne SONET, ils sont structurés en STS-n (Signal de Transport synchrone, niveau n).

SDH	SONET	Désignation optique	Débit (Mbps)
	STS-1	OC-1	51.84
STM-1	STS-3	OC-3	155.52
STM-4	STS-12	OC-12	622.08
STM-16	STS-48	OC-48	2488.32
STM-64	STS-192	OC-192	9953.28

Figure 45 : Répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET. [28]

Pendant le processus de multiplexage SDH, les données sont regroupées en blocs qui seront ensuite multiplexés afin de créer des blocs de plus en plus grands, jusqu'à ce que l'on obtienne une trame STM.

Le multiplexage SDH est réalisé en deux phases distinctes. Un niveau initial, appelé niveau inférieur LO (Low Order), est suivi d'un niveau supérieur HO (High Order). Au niveau initial, les VC-LO sont combinés afin de créer les VC-HO, ensuite, au niveau 2, les VC-HO sont combinées pour créer la trame STM.

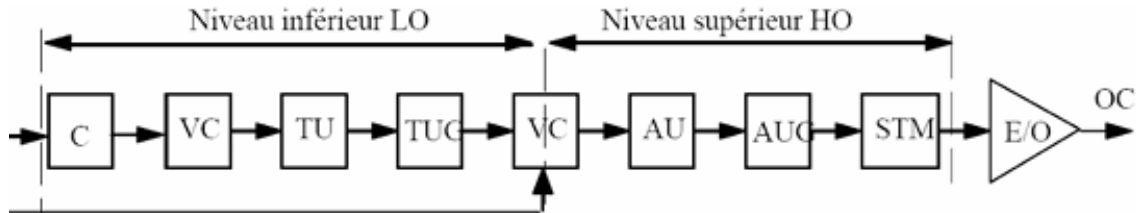


Figure 46 : Les niveaux du multiplexage SDH. [28]

5 Formation de la trame de base (STM-1)

Pour illustrer le processus de multiplexage, nous allons expliquer en détail les différentes étapes de création de la trame STM-1 à partir d'affluents E1 en suivant les étapes suivantes :

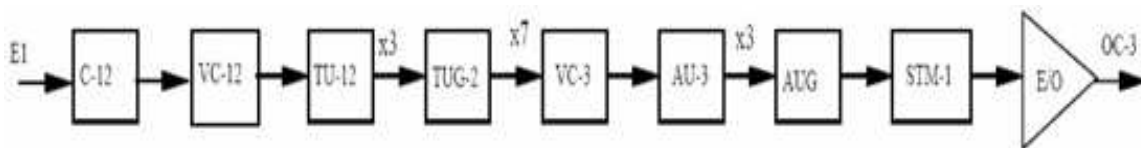


Figure 47 : formation d'une trame STM-1 à partir d'affluents E1. [28]

Les principaux éléments constitutifs d'une trame STM-1 sont :

- **Les conteneurs (C-n) :** Ce sont les espaces réservés au transport des données utilisateur (voix, données, vidéo). Ils peuvent être de différentes tailles et ils sont multiplexés au sein de la trame. Le conteneur contient les données utiles et un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.

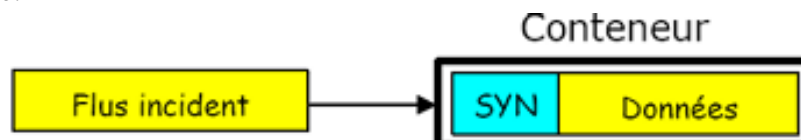


Figure 48 : construction d'un Conteneur. [28]

- **Conteneur Virtuel (VC) :** Les conteneurs sont regroupés en chemins virtuels, qui permettent de transporter des flux de données indépendants



Figure 49 : Construction d'un Conteneur Virtuel. [28]

- **Les conteneurs virtuels (VC-n)** : Plusieurs chemins virtuels peuvent être regroupés en chemins virtuels contigus pour former des groupes de flux de données.
- **Tributary Unit (TU)** : Afin de déterminer la position d'un VC dans une trame SDH sans qu'il soit toujours placé à la même position, un pointeur est utilisé pour indiquer la position du VC par rapport au début de trame. Le pointeur et le VC forment ce qu'on appelle un Tributary Unit (TU).



Figure 50 : Construction de la tributary unit. [28]

- **Le Groupe d'Unité d'Affluent TUG (Tributary Unit Group)** : Le groupe d'unité d'affluent représente une structure virtuelle de la trame reflétant le multiplexage des TU-m. Le TUG est considéré comme les règles de rangement des TU dans la trame. Comme exemple :
 - Un TUG 2 regroupe soit 3 TU12, soit 1 TU2.
 - Un TUG 3 regroupe 7 TUG 2, ou 1 seul TU3.

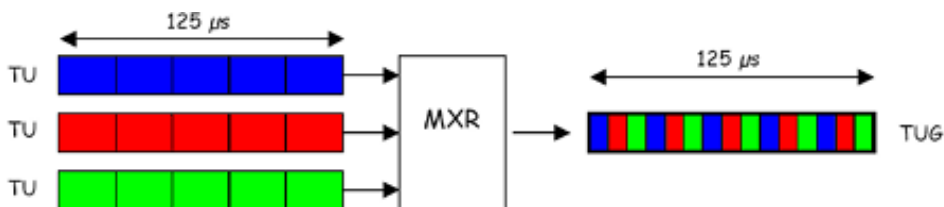


Figure 51 : Constitution d'une TUG-2 à partir de 3 TU-12. [28]

- **L'unité Administrative AU (Administrative unit)** : L'unité administrative est composée du VC et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique la position du début du VC dans la trame transport utilisée.
- **Le Groupe d'Unité Administrative : AUG (Administrative unit Group)** : La structure virtuelle du groupe d'unité administrative représente l'information utile de la trame de transport d'ordre 1 (STM-1).

6 Formation de la trame STM-n

On obtient les trames de transport STM-n en multiplexant n AUG et en supplémentant un surdébit de Section SOH. La série STM-1 (155,520Mbit/s) comprend 1 AUG et son SOH, tandis que la série STM-4 (622,080Mbit/s) comprend 4 AUG et son SOH. La trame STM-16 (2488,320Mbit/s) est composée de 16 AUG et de son SOH.

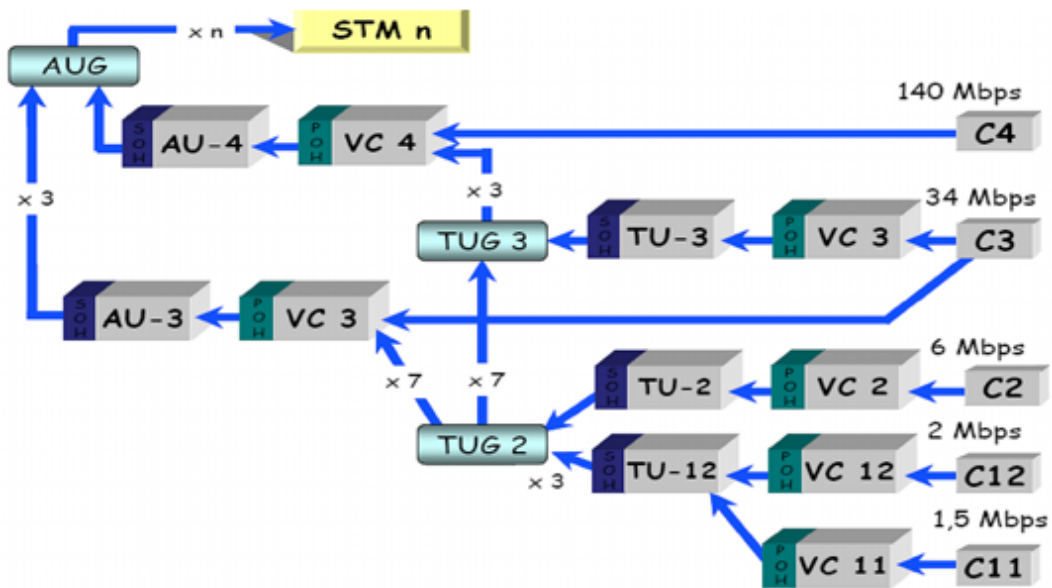


Figure 52 : Structure du multiplexage synchrone pour la formation de l'STM-n. [28]

7 La protection du conduit (SNCP)

Dans cette méthode de protection, les composants du réseau sont reliés entre eux par deux fibres optiques, l'une étant chargée de transmettre le trafic dans des conditions normales et l'autre étant chargée de protéger le réseau. En règle générale, le nœud A émet le trafic en même temps sur la fibre normale via B et sur la fibre de secours via E. Dans cette situation, le récepteur sélectionne le signal le plus qualitatif qui lui parvient des deux sens. Effectivement, en cas de dysfonctionnement de la transmission sur le trajet passant par le nœud B, le nœud C se déplacera vers la ligne de protection (via E et D) afin de recevoir les données émises par le nœud A.

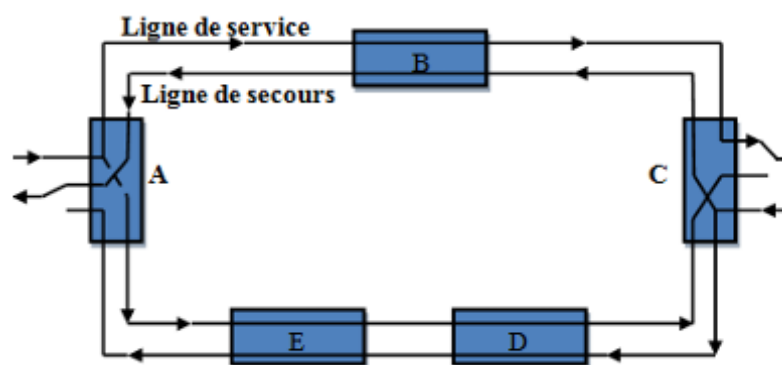


Figure 53 : protection du conduit. [28]

8 Conclusion

Au terme de cette étude sur la technologie SDH, il apparait clairement que cette technologie est le moteur des réseaux de communication modernes, notamment en matière de multiplexage temporel.

La SDH reste un exemple incontournable dans l'histoire des télécommunications, témoignant de l'évolution significative des transmissions numériques à haut débit, marquant une étape clé avant de laisser place à d'autres technologies plus flexibles et à plus haut débit.

Chapitre IV : Simulation d'une liaison optique SDH 622 Mb/s

1 Introduction

Après avoir introduit les fondements théoriques des systèmes SDH, nous passons à la mise en œuvre pratique de notre étude. Les travaux suivants ont été réalisés lors d'un stage au sein d'Algérie Télécom au niveau du centre EMTR de Tizi-Ouzou, stage au cours duquel nous avons pu, grâce à l'accompagnement des ingénieurs d'Algérie Télécom, réaliser la simulation et la configuration d'une liaison de transmission optique à 622 Mb/s entre deux points (Azazga et Bouzeguène) en utilisant la technologie SDH.

2 Présentation de l'organisme de travail

2.1 Algérie Télécom

Algérie Télécom est une entreprise à capitaux publics opérant sur le marché des réseaux et services de communications électroniques. Elle est organisée à l'échelle nationale avec une direction générale située à Alger et 13 directions opérationnelles de télécommunications dispersées sur tout le territoire algérien, dont celle de Tizi-Ouzou, ainsi que 49 directions centrales.



Figure 54 : Logo d'Algérie Télécom.[35]

Entrée officiellement en activité à partir du 10 avril 2003, elle s'engage dans le monde des technologies de l'information et de la communication avec trois objectifs : la rentabilité, l'efficacité et la qualité de services.[35]

Algérie Télécom domine le marché des télécommunications algérien. Offrant une vaste gamme de services de téléphonie fixe et d'Internet haut débit aux clients résidentiels et professionnels. Cette position s'est construite par une politique d'innovation performante et moderne, adaptée aux attentes des clients et orientée vers les nouveaux usages.[35]

2.1.1 Mission et objectif d'Algérie Télécom

Trois objectifs sont fixés par Algérie Telecom dans le secteur des technologies de l'information et de la communication :

- ▶ Déploiement d'un réseau de télécommunication fiable sur l'ensemble du territoire relié aux autoroutes de l'information.
- ▶ Augmenter la disponibilité des services téléphoniques et simplifier l'accès aux services de télécommunications pour un plus grand nombre d'utilisateurs.
- ▶ Rendre les services de télécommunications plus compétitifs, en réduisant les interruptions et en améliorant les débits.

2.2 Présentation de l'EMRT de Tizi-Ouzou

Le centre EMRT (Etablissement Maintenance Réseau de Transport) de Tizi-Ouzou est un établissement régional d'Algérie Télécom rattaché à la direction opérationnelle des télécommunications (DOT) de Tizi-Ouzou. Il assure le développement et la maintenance des équipements de transmission optiques & radio (NG-DWDM, SDH et FHN) des wilayas de Tizi-Ouzou, Boumerdes et Bouira.

2.2.1 Missions de l'EMRT

L'EMRT assure les tâches suivantes :

- Étude, installation et mise en service des équipements de transmissions haut débit à fibre optique (155 Mb/s, 622 Mb/s, 2,5 Gb/s... 20 Gb) et faisceaux hertziens.
- Étude, installation et mise en service des liaisons spécialisées au profit des clients professionnels (DATA, Internet et liaison spécialisée téléphonique).
- Relève de dérangement affectant les différents équipements de transmission.
- Maintenance des équipements de transmission.
- Basculement des liens SDH, accès du support FHN vers le support FO.
- Configuration de tous types d'équipements de transmission (HUAWEI, ZTE, NEC).
- Assainissement des sites techniques (URAD, RSS et CDC).

2.2.2 Organigramme de l'EMRT

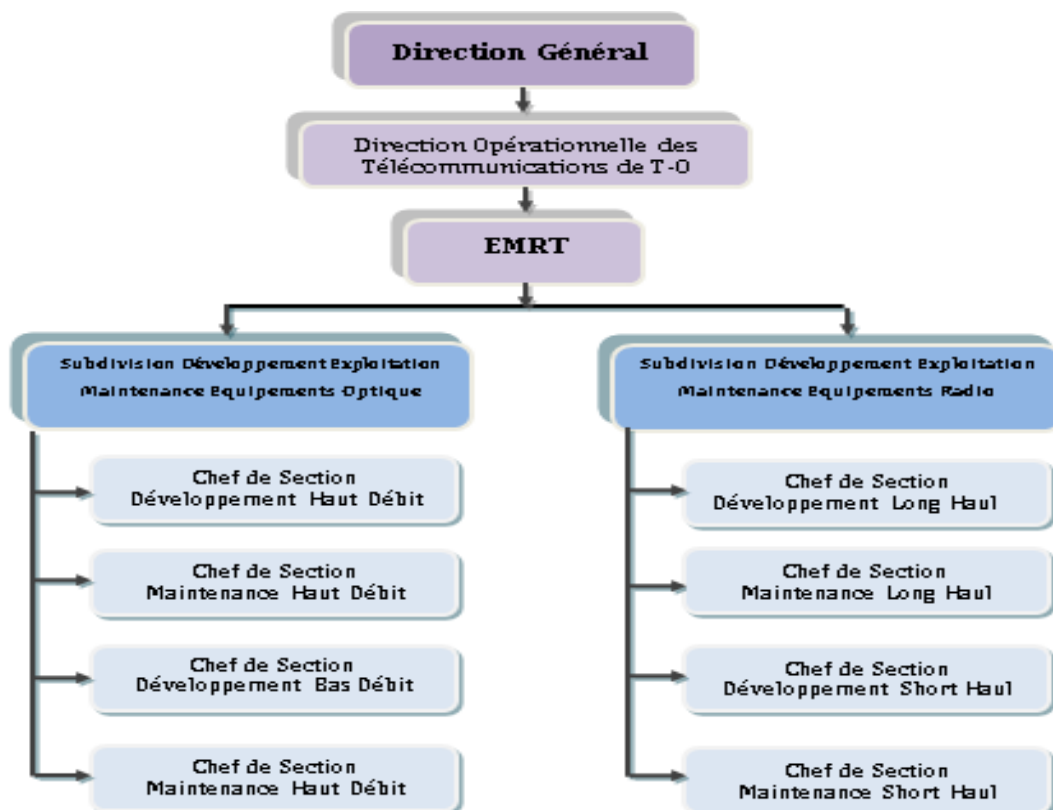


Figure 55 : Organigramme de l'EMRT de Tizi-Ouzou.

3 Étude du projet

L'objectif de cette étude expérimentale est de dimensionner une liaison optique avec une mise en service de l'équipement OSN 550 d'une capacité de 622 Mb/s, et d'attribuer les débits de transmission offerts par cet équipement pour l'exploitation finale entre Azazga et Bouzeguene sur une distance d'environ 30 Km.

3.1 La technologie SDH

La technologie SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une norme largement utilisée de nos jours pour les transmissions numériques dans les réseaux de télécommunications par fibre optique, pour différents services (voix, données, vidéo). Cette technologie a répondu aux besoins croissants qui sont la flexibilité, la visibilité, la facilité d'exploitation, la prise en compte des évolutions futures vers les hauts débits et l'interconnexion des systèmes.

Le SDH repose sur le principe de multiplexage temporel synchrone (STM), où plusieurs signaux de débit inférieur sont regroupés en un seul signal de débit plus élevé (offre des débits de transmission allant de 155 Mbit/s à 40 Gbit/s).

3.2 Présentation de l'équipement OptiX OSN 550

L'OptiX OSN 550 est un dispositif de transmission de Huawei développé spécifiquement pour les réseaux de télécommunications. Il fait partie de la série OptiX, qui comprend différents équipements destinés à offrir des solutions de transport optique performantes et fiables.

L'OSN 550 est un système de transmission optique multiservices de nouvelle génération orienté paquets et TDM, qui se positionne au niveau de la couche d'accès. Ce système se caractérise par sa grande capacité, sa haute disponibilité et sa structure compacte. Il prend en charge les technologies MPLS (Multiprotocol Label Switching), MPLS-Transport Profile (MPLS-TP), Ethernet, ATM, WDM, SDH et PDH. Ces technologies permettent la mise en place d'un réseau TDM pur, d'un réseau PTN pur ou d'un réseau hybride.



Figure 56 : Structure de l'équipement OptiX OSN 550.

3.2.1 Caractéristiques principales de l'OptiX OSN 550

- **Transport multiservices** : assure une variété de services (données, voix et vidéo), permettant une intégration facile des différents types de trafic sur une seule plateforme.
- **Technologie SDH/SONET** : utilise les technologies de hiérarchie numérique synchrone (SDH) et réseau optique synchrone (SONET) afin d'assurer une transmission fiable et synchronisée des données.
- **Flexibilité et évolutivité** : conçu pour être modulaire et évolutif, permettant aux opérateurs de télécommunications d'adapter la capacité et les fonctionnalités selon les besoins croissants du réseau.
- **Gestion unifiée** : offre des capacités de gestion intégrées pour faciliter la surveillance, la configuration et la maintenance des réseaux, assurant ainsi une gestion efficace des ressources.
- **Protection et redondance** : inclut des mécanismes de protection et de redondance pour garantir une haute disponibilité et une résilience face aux pannes et aux interruptions du service.
- **Compatibilité avec les réseaux existants** : peut être facilement intégré dans les infrastructures réseau existantes, permettant une transition fluide et une protection de l'investissement.[36]

3.2.2 Avantages de l'OptiX OSN 550

- **Support multiservices** : la capacité à gérer divers types de services sur une seule plateforme permet une simplification de l'architecture réseau et une réduction des coûts opérationnels.
- **Haute fiabilité** : les mécanismes de protection intégrés assurent une transmission stable et fiable des données, même en cas de perturbations du réseau.
- **Gestion centralisée** : la gestion unifiée facilite l'administration du réseau, réduisant les efforts nécessaires pour surveiller et configurer les équipements.
- **Évolutivité** : la conception modulaire permet d'ajouter facilement des capacités supplémentaires au réseau, répondant aux besoins futurs sans nécessiter de remplacement d'équipement.
- **Intégration facile** : la compatibilité avec les réseaux existants permet une mise en œuvre rapide et économique, protégeant ainsi les investissements antérieurs.[36]

3.2.3 Architecture de l'OptiX OSN 550

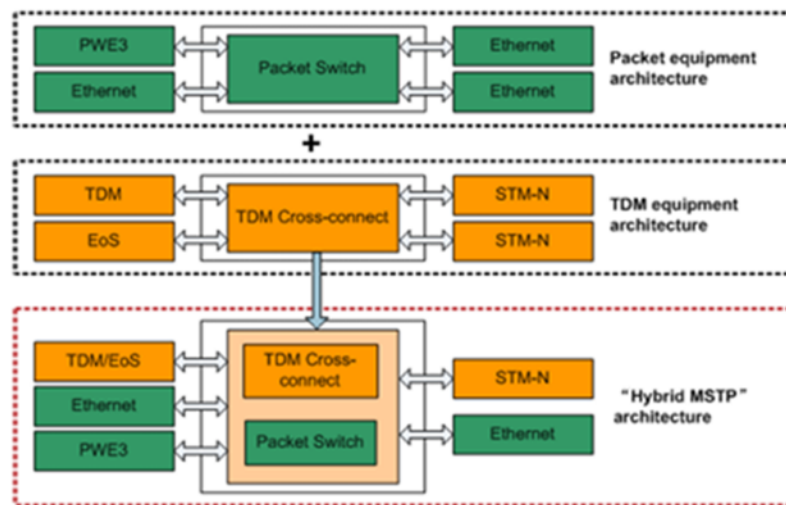


Figure 57 : Architecture de l'OptiX OSN 550.

3.3 Description du logiciel U2000

Huawei iManager U2000 est un logiciel de gestion réseau unifié, permettant de centraliser le contrôle et la supervision de l'ensemble des équipements réseau Huawei. C'est une solution majeure qui fournit de puissantes fonctionnalités pour gérer les réseaux de transport, de données et d'accès et améliorer l'efficacité opérationnelle.

Capable de gérer un grand nombre d'équipements (SDH, WDM, Ethernet, IP, etc.) simultanément, il est conçu pour répondre aux exigences les plus élevées en matière de sécurité et de fiabilité.

3.3.1 Caractéristiques du logiciel U2000

- Configuration, déploiement et gestion de services centralisée sans intervention sur site.
- Prend en charge une multitude de technologies et d'équipements réseau (SDH, WDM, Ethernet, etc.).
- Offre une gestion à la fois au niveau des équipements et au niveau du réseau dans son ensemble.
- Compatible avec plusieurs systèmes d'exploitation (Windows, Linux, UNIX).
- S'intègre facilement avec d'autres systèmes de gestion de réseaux, facilitant l'échange d'informations.
- Son interface graphique basée sur Java, offre une navigation simple et efficace pour les utilisateurs.
- Permet de rechercher et de créer rapidement de nouveaux éléments réseau (équipements, fibres).
- Compatible avec les principaux protocoles de communication (IP, ECC), assurant une connectivité avec différents types d'équipements réseau.

- Offre un ensemble de fonctions pour filtrer les alarmes, détecter les anomalies, surveiller les performances et assurer la sécurité du réseau.
- Intègre des mécanismes de sécurité pour sauvegarder et restaurer les données de configuration en cas de panne ou de défaillance.

3.3.2 Position d'U2000 dans un réseau de gestion des télécommunications

Dans l'architecture de gestion d'un réseau de télécommunications, U2000 intervient à différents niveaux de gestion:

- **Couche d'équipements du réseau (Network Element Layer)** : le logiciel interagit directement avec les équipements du réseau pour les superviser et les configurer.
- **Couche de gestion des équipements (Element management layer)** : permet de Coordonner et gère les différents éléments du réseau, assurant leur cohérence et leur fonctionnement optimal.
- **Couche de gestion de réseau (Network management layer)** : offre une vue d'ensemble du réseau, permet de gérer de manière globale un réseau étendu et de planifier son évolution.
- **Couche de gestion des services (Service management layer)** : assure la gestion des services offerts aux clients (bande passante, VPN, etc.).
- **Couche de gestion d'entreprise (Business management layer)** : Interface avec les clients et les applications internes, permet une gestion unifiée des ressources et des services.

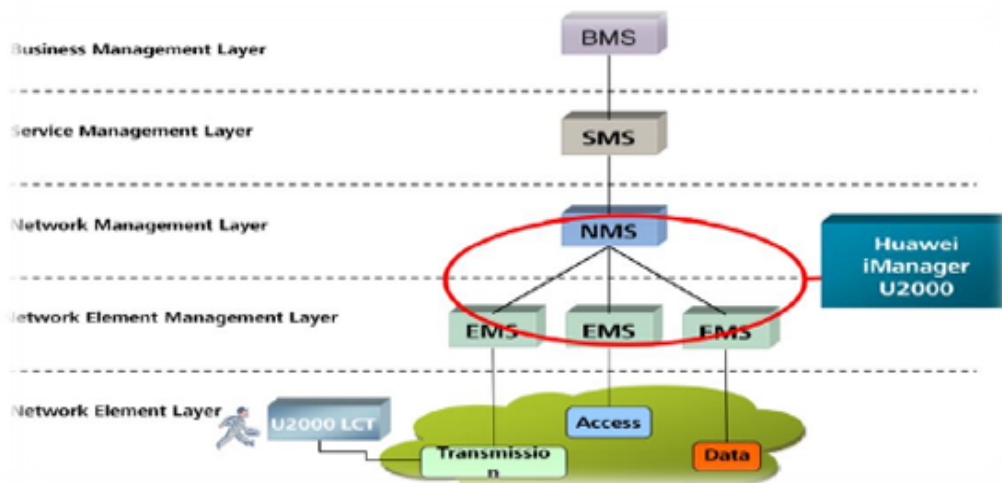


Figure 58 : Position de U 2000 dans un réseau de gestion des télécommunications.[3]

3.3.3 Couche de gestion de réseau

L'U2000 permet de gérer et de configurer la mise en service de plusieurs réseaux simultanément. Il permet également d'interconnecter ces différents réseaux entre eux. Tout ça grâce à son interface graphique unifiée qui lui permet de gérer l'ensemble des équipements réseau développés par l'entreprise Huawei.

C'est dans la couche de gestion de réseau que réside l'importance de cette plateforme car c'est dans cette partie qu'on peut gérer les différents éléments de réseaux (MSAN, SDH, WDM...).

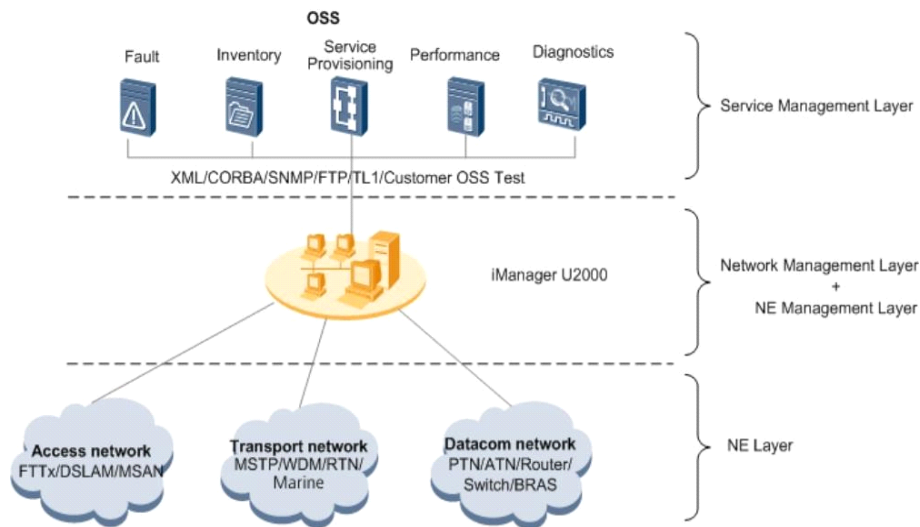


Figure 59 : U2000 dans la couche de gestion de réseau.

3.4 Configuration du dispositif OptiX OSN 550 à 622 Mb/s

Nous allons utiliser la plate-forme de gestion iManager U2000 pour configurer l'OptiX OSN 550. Ce logiciel nous permet entre autre de configurer les différents services SDH de notre liaison.

Dans ce qui suit nous allons exposer les différentes étapes de notre configuration.

A. Lancer le logiciel U2000 (serveur et client) :

- Sur le bureau, ouvrir "U2000 LCT Server" puis une fois le serveur chargé ouvrir " U2000 LCT Client".



Figure 60 : U2000 LCT Server et U2000 LCT Client.

- La fenêtre d'authentification ci-dessous s'affiche, on entre le nom de l'utilisateur et son mot de passe.

User Name: admin

Password: Emrt_123

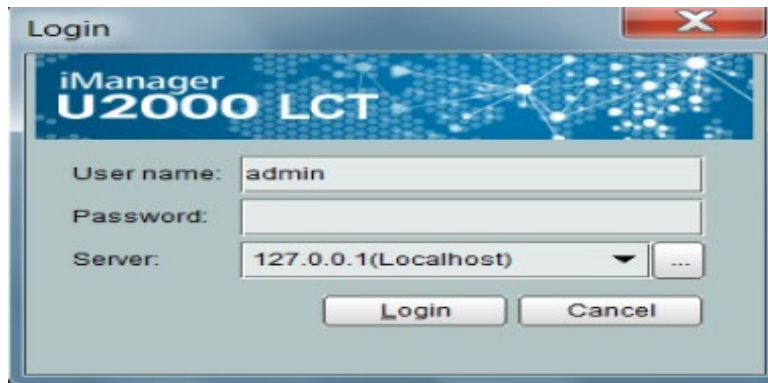


Figure 61 : fenêtre d'authentification du logiciel U2000.

- Pour finalisé l'authentification de l'utilisateur et accéder à la Database de la plateforme on appuie sur "**Login**". On est redirigé vers la fenêtre de la Figure 61.

NE	NE Type	NE IP Address	Gateway	Login	Configuration	Communication	The Highest Level
essal	OptiX OSN 550	129.9.170.107	GNE	Login	Configured	Communication Normal	Critical Alarm
BEN YENNI	OptiX Metro 1000V3	129.9.46.168	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
POLYCLINIQ...	OptiX Metro 1000V3	129.9.95.112	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
beni douala ...	OptiX OSN 2000	129.9.101.159	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
URAD Mekla	OptiX OSN 550	129.9.144.185	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
Relais Belloua	OptiX OSN 550	-	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
IFERHOUNE...	OptiX OSN 550	-	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
CA2 -LNI	OptiX OSN 550	129.9.139.47	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
Tigzirt-Tzi ouz...	OptiX OSN 2000	129.9.101.152	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
NE(9-26014)	OptiX OSN 2000	129.9.101.158	Non-GNE	Not Login	Unconfigured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
Bouzeguène	OptiX OSN 550	129.9.160.240	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
METRO 1000...	OptiX Metro 1000V3	129.9.152.255	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
urad aeh	OptiX OSN 2000	129.9.105.119	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
MAATKAS	OptiX OSN 2000	129.9.101.166	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
ABIYOUCEF	OptiX Metro 1000V3	129.9.91.3	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
Tizi Rached	OptiX OSN 2000	129.9.101.153	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
Iferhouéne	OptiX OSN 550	-	Non-GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
CUNNI	OptiX OSN 2000	129.9.101.162	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
OSN 2000 YA...	OptiX OSN 2000	129.9.101.151	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm
OTZ AZECCO	OptiX OSN 550	129.9.152.55	GNE	Not Login	Configured	Communication Interrupti...	Critical Alarm

Figure 62 : Interface graphique du logiciel U2000.

B. Rechercher et créer les équipements du réseau

- La prochaine étape de notre configuration consiste à rechercher les éléments connectés à notre réseau, pour ce faire on appuie sur « **Auto Discovery** » en bas dans la Figure 61. On sera automatiquement rediriger vers la fenêtre suivante (Figure 62).

- Après avoir défini le type d'équipements **root**. On appui sur « **Modify** » pour entrer le mot de passe « **password** » puis « **next** » pour débiter la recherche.

- **Search address** : 129.9.255.255
- **User Name** : root
- **Password** : password

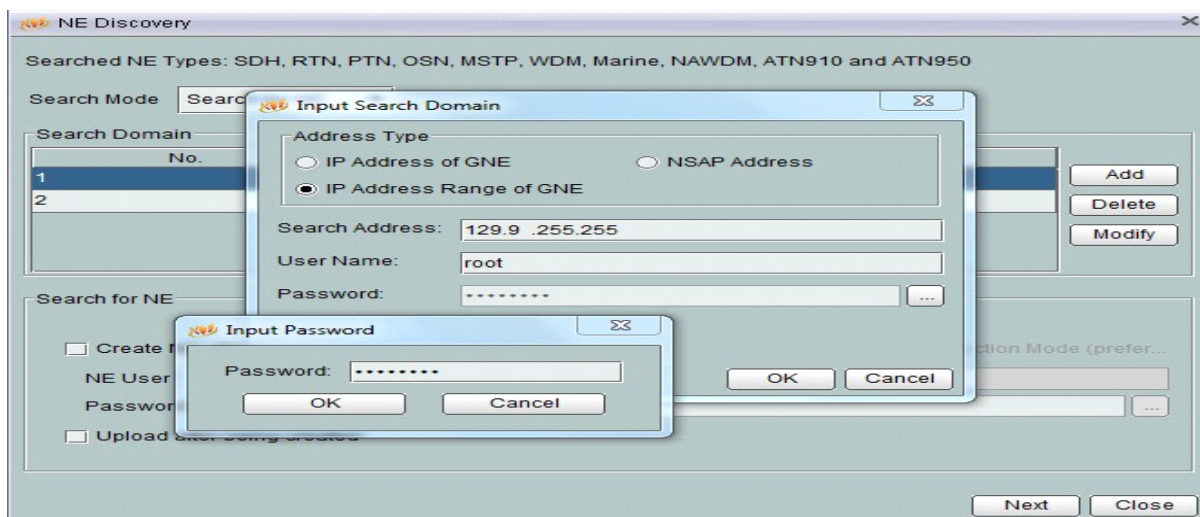


Figure 63 : Lancement de la recherche des appareils connectés au réseau.

- Une fenêtre avec la liste des équipements connectés au réseau s'affiche après la fin de la recherche.

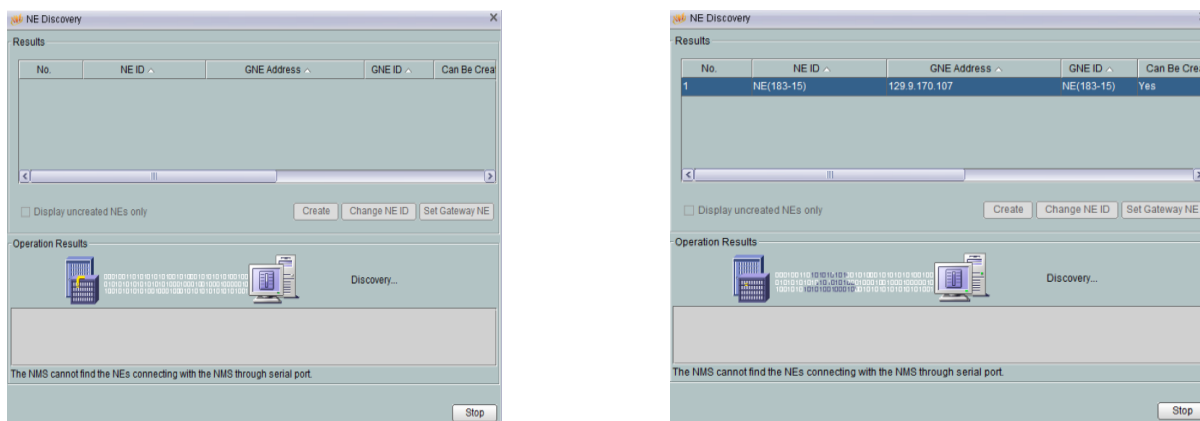


Figure 64 : Recherche d'équipement.

- Pour créer un équipement et l'ajouter dans la database. On sélectionne le NE puis on clique « **create** », la fenêtre d'authentification suivante apparaît (Figure 64), on entre le nom d'utilisateur et le mot de passe et on appuis sur **OK**.

- **User Name**: lct
- **Password**: password

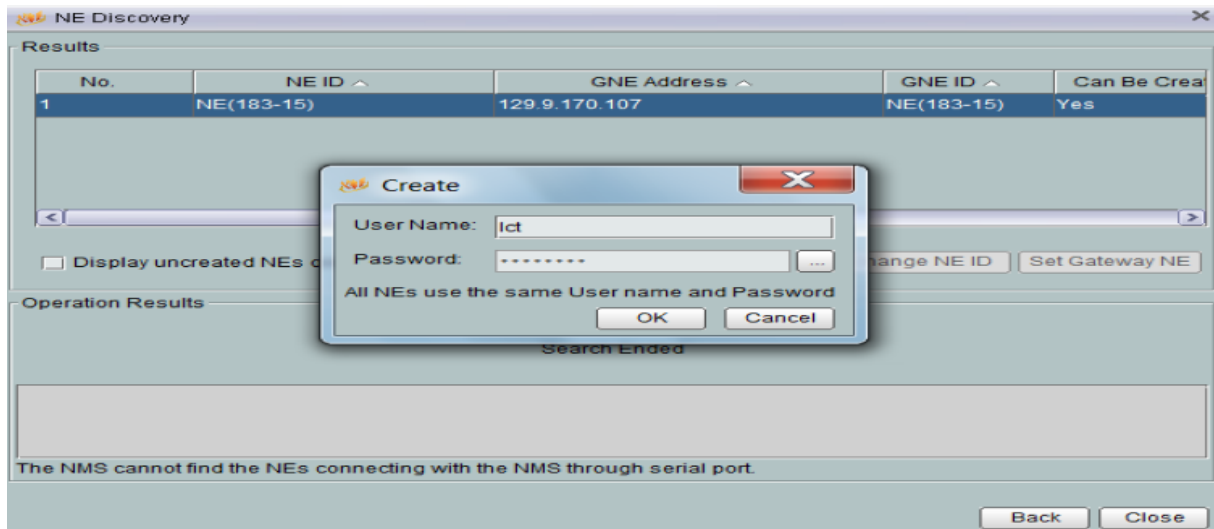


Figure 65 : Création de l'équipement.

- L'équipement est automatiquement créé la base de données du logiciel (Figure 65).

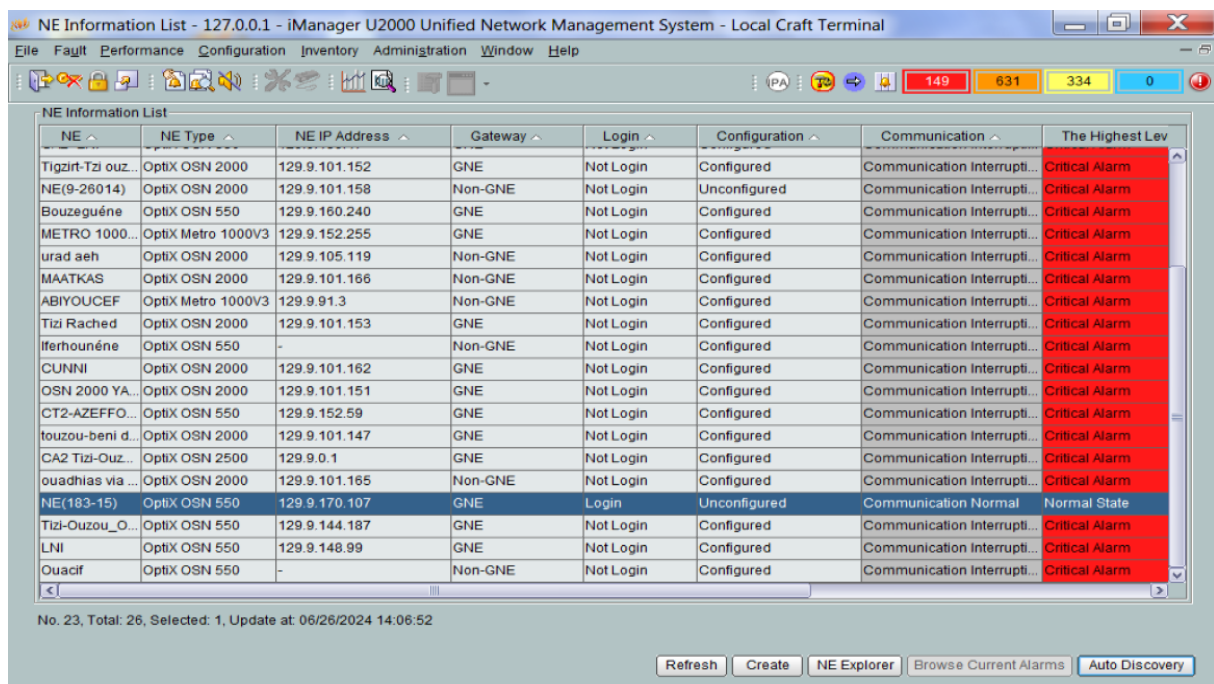


Figure 66 : Ajout de l'équipement dans la base de données U2000.

C. Charger les cartes optiques et électriques installées sur l'équipement

- Pour charger les cartes optiques et électriques on sélectionne le NE puis on va dans « **Configuration** ».

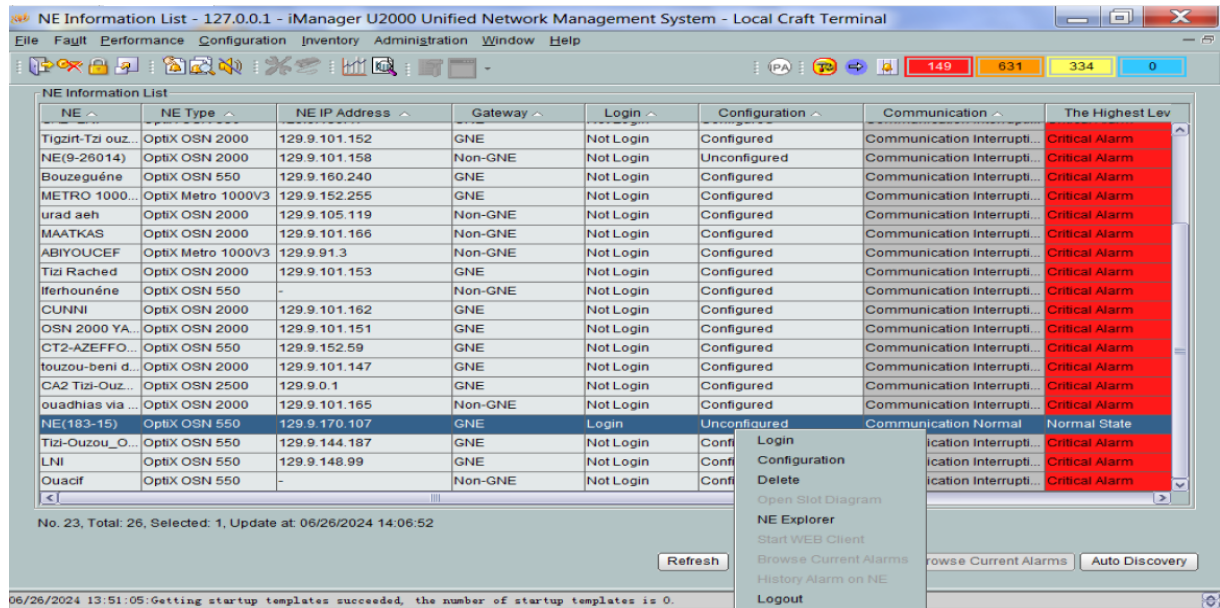


Figure 67 : Fenêtre permettant d'accéder aux différentes options de configuration

- On sélectionne « **Manual Configuration** » pour configurer manuellement notre équipement et on appui sur « **Next** ».

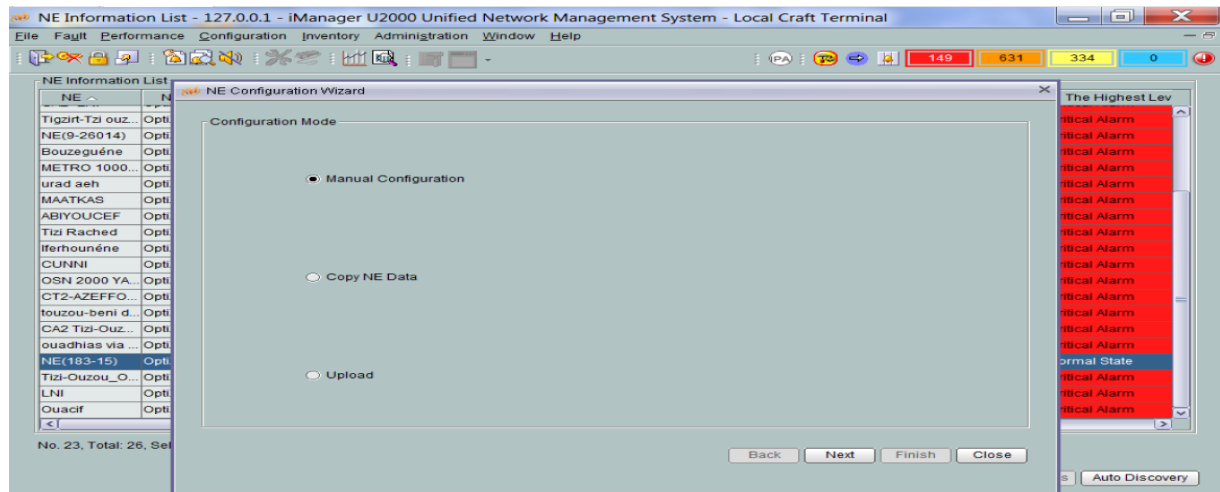


Figure 68 : Les différents modes de configurations de l'équipement

Remarque :

- **Manuel Configuration** : pour configurer manuellement l'équipement.
- **Copy NE Data** : pour copier une configuration existante à partir d'un autre fichier.
- **Upload** : pour charger la configuration de l'équipement et effectué des changements.

➤ Dans la fenêtre de la Figure 69, on règle le nom et le type (model) du NE puis on appui sur suivant pour enregistrer les modifications.

- **NE Name** : stage-azazga-bouzeguene
- **Equipment Type** : Optix OSN 550

Attribute	Value
NE ID	183-15
NE Name	stage-azazga-bouzeguene
Equipment Type	OptiX OSN 550
NE Remarks	
Used for Extended Shelf or Not	No
Shelf Type	Subrack Type I
Outdoor Rack	Unconfigured

Buttons: Back, Next, Finish, Close

Figure 69 : Fiche technique de l'équipement

➤ Pour charger les interfaces installées sur le NE on appui sur « **Query Physical** », puis sur « **Next** » afin de terminer la procédure.

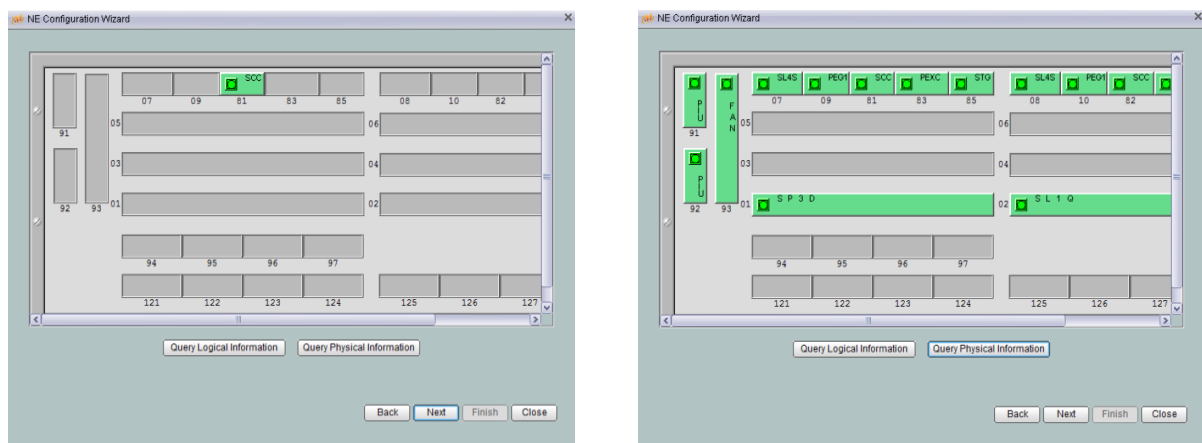


Figure 70 : Chargement des différentes cartes.

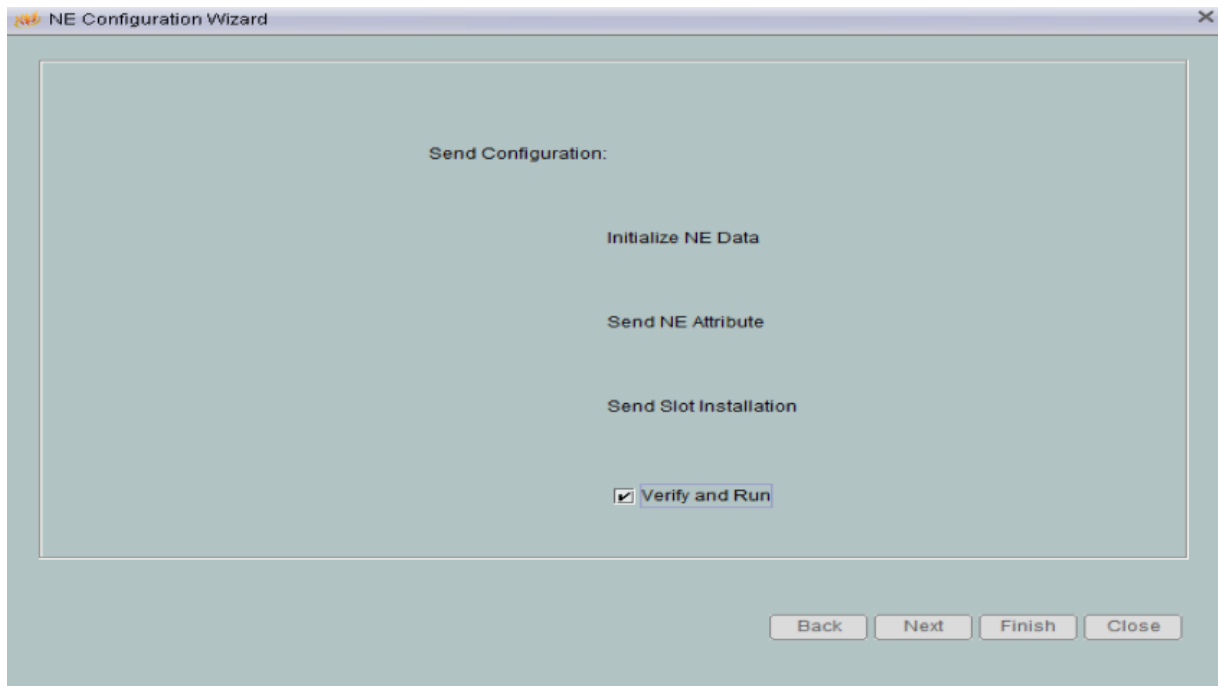


Figure 71 : Vérification et validation de la configuration.

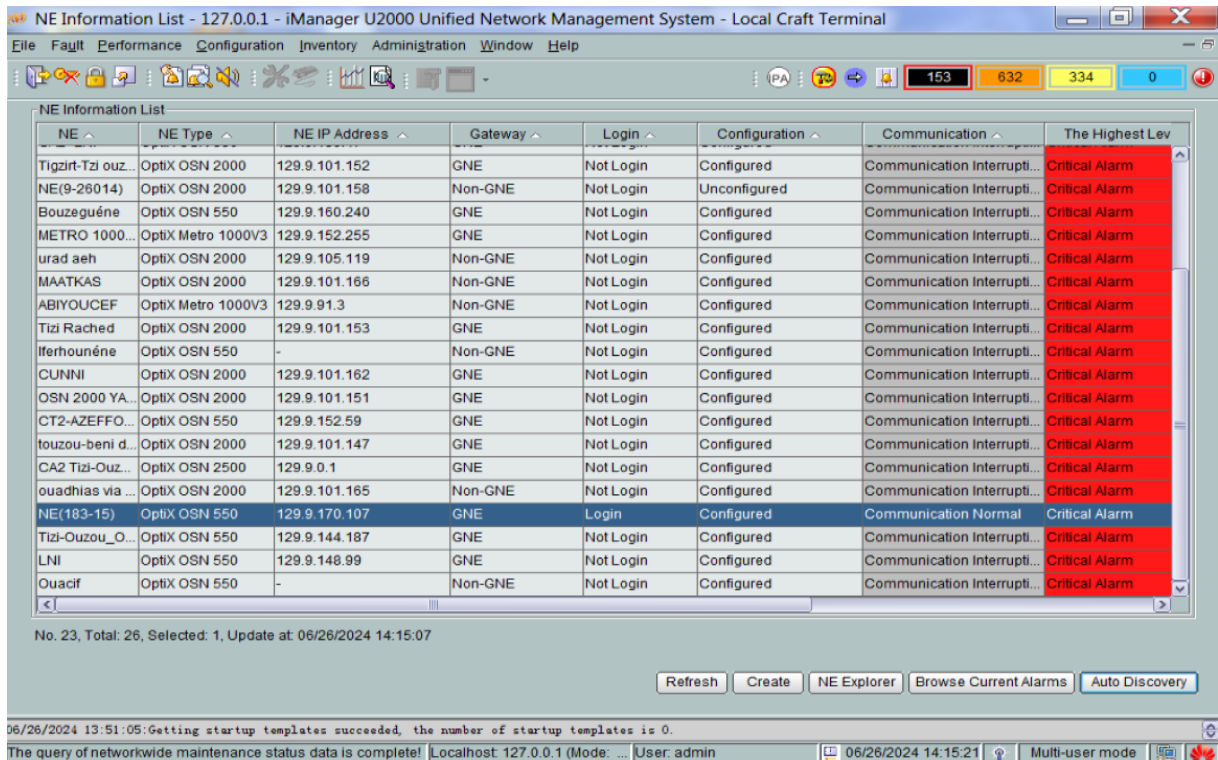


Figure 72 : Equipement configuré.

D. Configuration des services SDH

- Pour configurer un nouveau service, on sélectionne l'équipement dans « **NE Information List** », puis on clique sur « **NE Explorer** ».

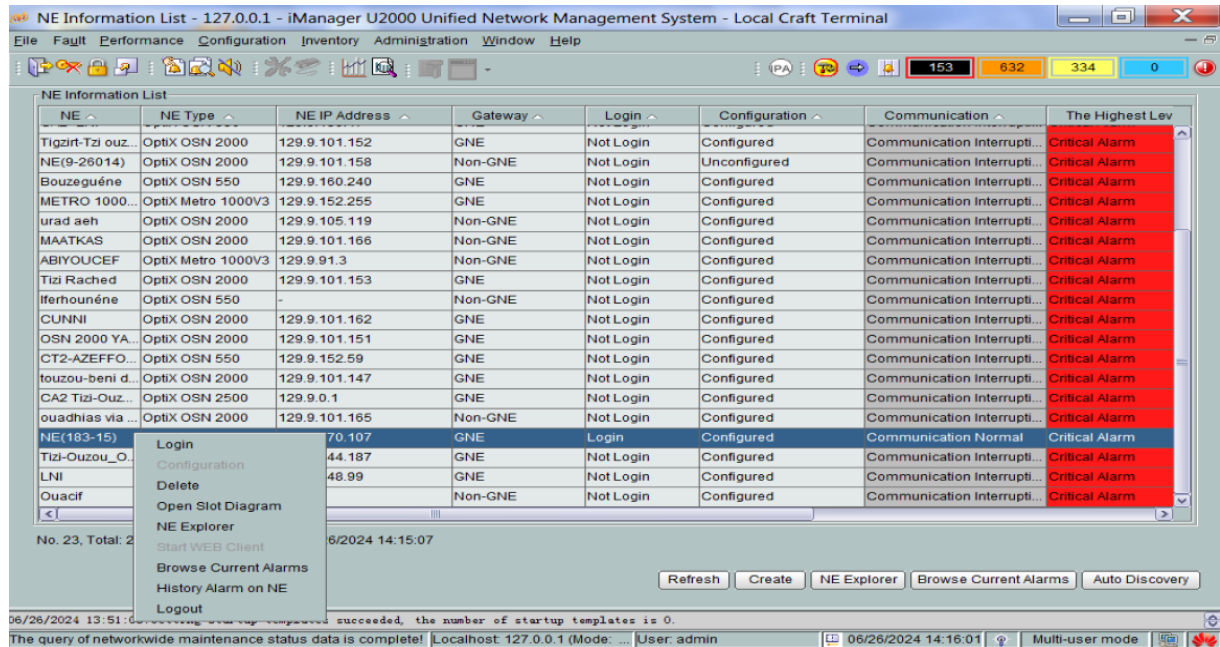


Figure 73 : configuration d'un nouveau service.

- On est redirigé vers la fenêtre suivante (Figure 74).

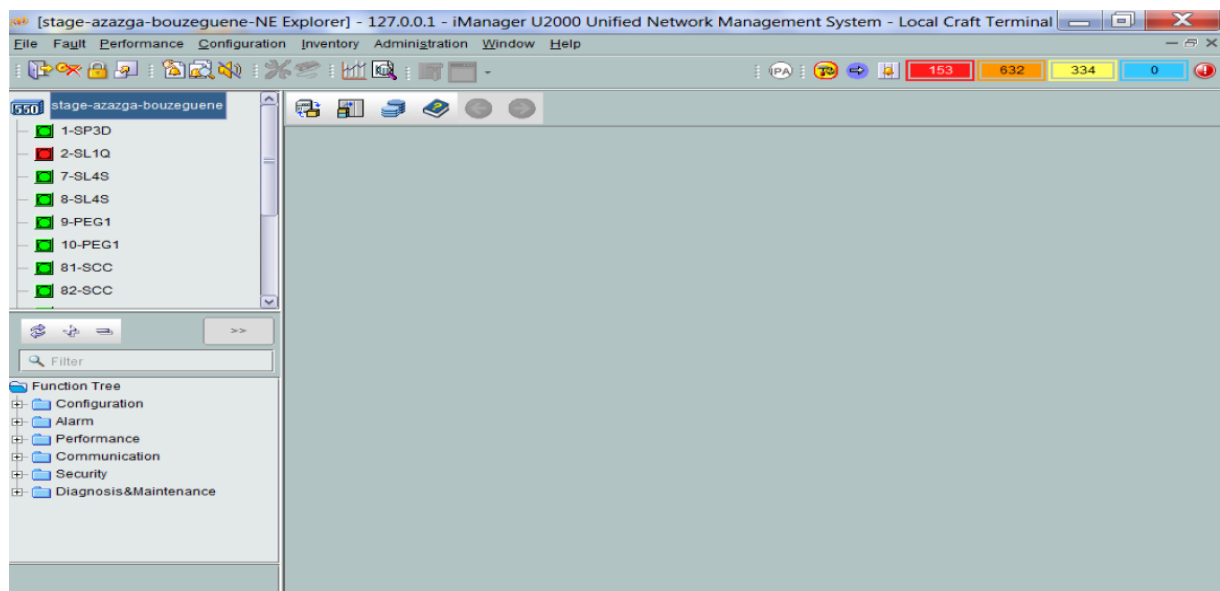


Figure 74 : création d'un nouveau service.

- Pour créer un nouveau service SDH, on va dans «**Configuration**», puis «**SDH/PDH Service Management**» pour afficher les paramètres de la configuration, ensuite on clique sur «**Créate**».

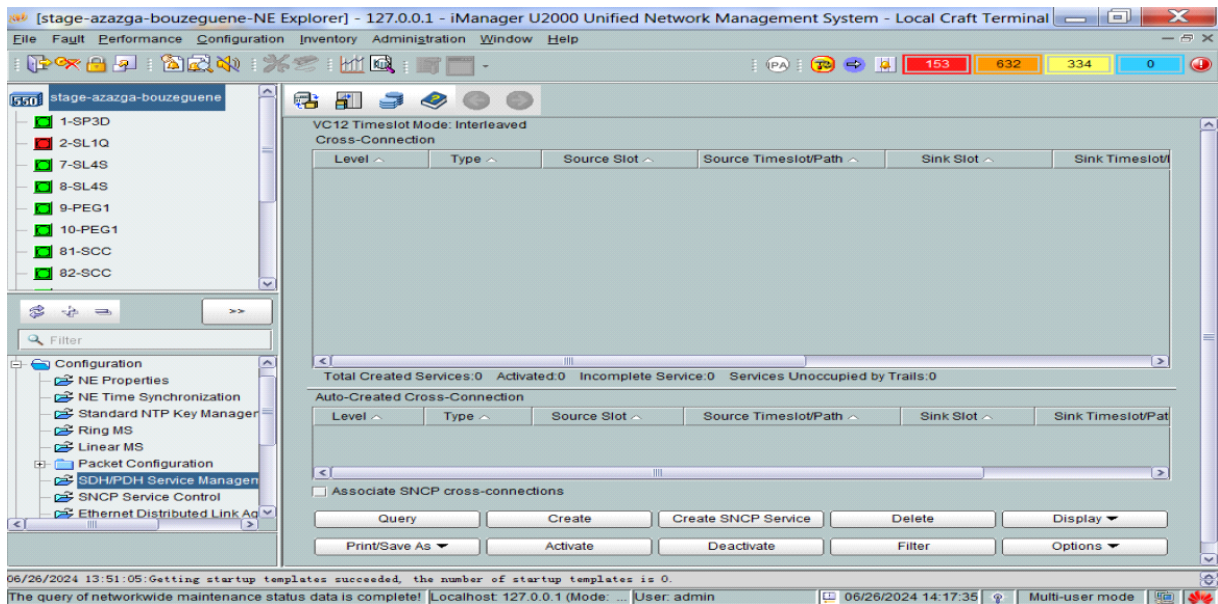


Figure 75 : Création des services SDH.

- Une fenêtre s’ouvre et guide notre configuration. Comme représenté à la Figure 76, on règle les paramètres du service selon le besoin (type de carte en émission ainsi qu’en réception, time slot...ect)

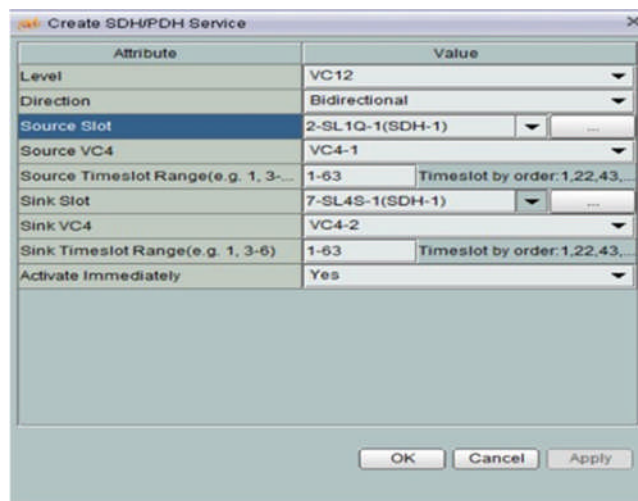


Figure 76 : configuration du service SDH

Dans cette fenêtre, on choisit le container VC12 pour transmettre le lien 2 Mb/s (VC12= E1 = 2 Mb/s)

On sélectionne la carte des E1 (1-SP3D).

On sélectionne la carte de ligne (7-SL4S-1(SDH-1))

3.5 Configuration de la liaison 622 Mb/s (Azazga/Bouzeguene)

3.5.1 Choix des paramètres de configuration

Les résultats de notre liaison sur le système de gestion de réseau iManager U2000 indique une utilisation maximale de la capacité disponible. L'interface affiche un total de 260 services créés et activés, tous configuré en mode de multiplexage SDH. Ces connexions couvrent différents niveaux hiérarchique VC12, VC3 et VC4, démontrant une structure de réseau multiniveau. La présence de connexions bidirectionnelles indique une flexibilité dans la conception du réseau pour répondre à diverses exigences de trafic.

3.5.2 Explication des configurations

- **E1** : E1 est un format de transmission numérique utilisé principalement en Europe. Il offre une capacité de 2,048 Mbit/s.
- **VC12 (Virtual Container 12)** : C'est le plus petit conteneur virtuel dans la hiérarchie SDH. Utilisée pour le transport des signaux E1 dans les réseaux SDH (VC12 = E1).
- **VC3 (Virtual Container 3)** : Il a une capacité d'environ 48,384 Mbit/s. Peut transporter 21 VC12 (VC3 = 3VC12).
- **VC4 (Virtual Container 4)** : C'est le plus grand conteneur virtuel dans la hiérarchie SDH. Il a une capacité de 150,336 Mbit/s. Peut transporté 3 VC3 ou 63 VC12 (VC4 = 3 VC3 = 63 VC12).

3.5.3 Paramètres de configuration de la liaison

Tableau 1 : Table de Configuration des Timeslot Azazga/Bouzeguene.

Niveau	Type de la ligne	Source Slot	Source Timeslot	Sink Slot	Sink Timeslot
VC12	Line bidirectional	1-SP3D	1-42	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-1 :1-42
VC12	Line bidirectional	2-SL1Q-1(SDH1)	VC4-1 :1-63	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-2 :1-63
VC12	Line bidirectional	2-SL1Q-2(SDH2)	VC4-1 :43-63	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-1 :43-63
VC3	Line bidirectional	2-SL1Q-2(SDH2)	VC4-1 :1	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-3 :1
VC3	Line bidirectional	2-SL1Q-3(SDH3)	VC4-1 :2-3	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-3 :2-3
VC4	Line bidirectional	2-SL1Q-4(SDH4)	VC4-1	7-SL4S-1(SDH1)	VC4-4

3.5.4 La configuration final de la liaison 622 Mb/s

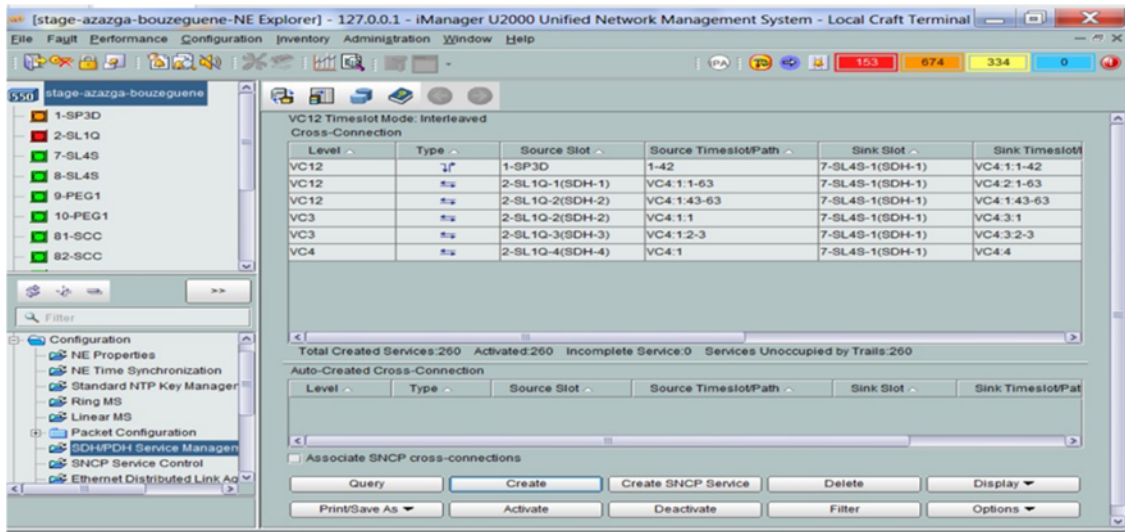


Figure 77 : configuration final de la liaison 622Mb/s.

3.5.5 Description des cartes d'OSN 550

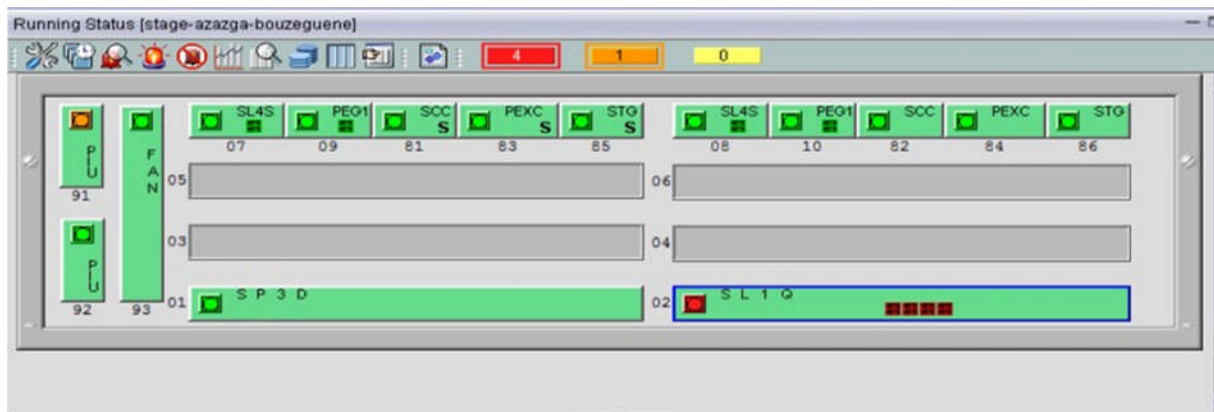


Figure 78 : Description des cartes d'OSN 550

- **SP3D** : Unité de traitement des services tributaires 42xE1 (Carte PDH)
- **SL1Q** : Carte d'interface optique 1 x STM-4 (Carte SDH)
- **SL4S** : Carte d'interface optique 1 x STM-4 (Carte SDH)
- **PEG1** : Carte d'interface optique 1-Port GE
- **SCC** : Carte de contrôle et de communication du système
- **STG** : Synchronous timing generation board
- **PEXC**: Cross-connect board with packet switch unit
- **PIU** : Carte d'alimentation
- **FAN** : Ventilateur

4 Teste des liaisons

4.1 Liaisons optiques

4.1.1 Appareil Emission /Réception

Après la mise en service des liaisons optiques, les ingénieurs et techniciens du centre EMRT d'Algérie Télécom Tizi-Ouzou effectuent des tests sur la liaison en utilisant l'appareil ACTERNA OPL-55 (Optical Power Meter-55) pour mesurer son affaiblissement afin de détecter d'éventuelles anomalies ou coupures sur la ligne. L'OPL-55 est un appareil de terrain solide qui peut être utilisé sur batterie et sur secteur, offrant ainsi une grande autonomie à l'utilisateur. [28]



Figure 79 : Optical Power Meter « ACTERNA OPL-55 »

➤ Principe de la mesure

Pour mesurer l'affaiblissement sur la ligne, deux appareils doivent être connectés aux deux extrémités de la liaison optique. Un signal optique est envoyé d'un bout à l'autre de la fibre avec un affaiblissement de 0 dB/Km, le récepteur récupère le signal émis avec une certaine atténuation qui sera affichée sur l'écran. [28]

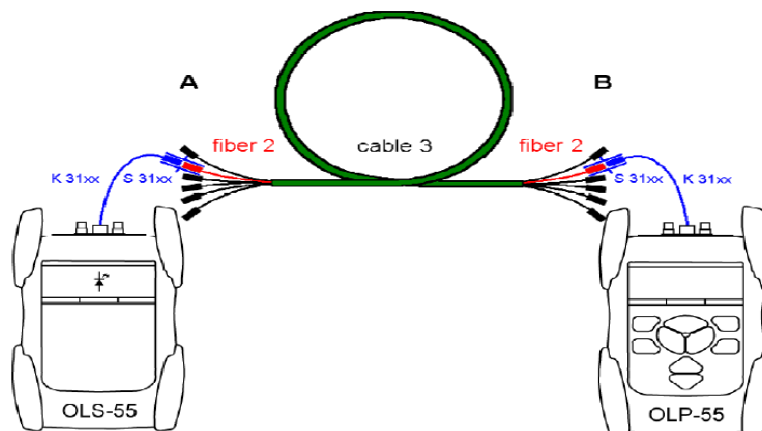


Figure 80 : Principe de la mesure par Appareil Emission/Réception. [28]

4.1.2 Le Réflectomètre

Lors de la mise en service, un examen approfondie de la ligne et réaliser (jonction défectueuse, limitation...). En utilisant cette fois-ci un réflectomètre OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) depuis une seule extrémité seulement. Il offre la possibilité de repérer précisément les incidents et les anomalies présents sur le lien et de déterminer leur affaiblissement. [3]



Figure 81 : Réflectomètre optique portable OTDR

➤ Principe de la mesure

Le principe est d'introduire un flux lumineux à une extrémité de la ligne pour analyser et observer au même endroit l'intensité optique qui traverse la ligne. [3]

4.2 Liaison électrique

L'analyseur de transmission (PF4) est un dispositif utilisé pour tester le bon fonctionnement des liaisons électriques et évaluer le niveau d'affaiblissement (erreur). [3]

➤ Principe de la mesure

Elle repose sur la génération d'un signal électrique avec un débit variant de 2 Mbit/s à 140 Mbit/s. La méthode de test consiste à envoyer un signal électrique sans erreurs ($E=0$), puis à le recevoir encore une fois avec un degré d'erreur qui peut varier. [3]

- $E \leq 10^{-7}$: La liaison est bonne (tolérance).
- $E = 10^{-6}$: Indication du problème.
- $E = 10^{-3}$: Coupure sec du câble. [3]

5 Conclusion

Ce chapitre résume la partie pratique de ce travail et présente la conception et la mise en service d'une liaison de transmission optique à 622 Mb/s entre deux points (Azazga et Bouzeguene) en utilisant la technologie SDH au sein du centre EMRT d'Algérie Telecom Tizi-Ouzou. Ce réseau repose sur une plateforme OptiX OSN 550 de Huawei, qui permet à ALGERIE TELECOM de migrer vers des services de nouvelle génération de type données destinés à ses clients.

Conclusion Générale

L'évolution des communications optiques a permis aux réseaux de télécommunications d'atteindre un niveau de performances extraordinaire et a ouvert la voie devant l'apparition de nouvelles technologies. C'est pourquoi il nous est paru nécessaire de commencer ce mémoire par une étude de fibre optique, suivie d'une description détaillée de la chaîne de transmission optique. Pour finir, on a donné un aperçu de la hiérarchie SDH utilisée dans la suite de notre mémoire.

Ce projet s'appuie sur une conception et simulation d'une liaison de transmission SDH à 622 Mb/s entre deux localités Azazga et Bouzeguane. Cette étude effectuée au centre EMRT d'Algérie Telecom Tizi-Ouzou nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des transmissions optiques et d'acquérir une expérience pratique sur le fonctionnement et la planification de petits réseaux SDH métropolitains. Elle repose sur un équipement OPTIX OSN 550 de Huawei et la Platform de gestion iManager U2000. Le choix de l'infrastructure SDH répond aux besoins des clients en bande passante sur des parties des réseaux, et de faire migrer d'autres parties pour lesquelles la demande était plus élevée. La SDH permet d'associer des débits incidents relativement bas pour former un débit supérieur, plus facile à transmettre et à gérer dans un réseau de transmission.

Au terme de cette étude, nous avons constaté l'importance de la technologie SDH et du support optique, qui combinés apportent aux réseaux de transmissions des améliorations de service, de fiabilité et de bon fonctionnement. Après la fin de la configuration de la liaison et ça mise en service par Algérie télécom, nous avons pu envoyer un flux d'information d'Azazga, et qui a été reçu avec succès au niveau de Bouzeguen sans rencontré aucune interférence ni anomalie et avec un minimum d'affaiblissement, preuve du bon déroulement de l'installation et de la mise en service de la liaison que ça soit au niveau de la configuration ou au niveau de l'installation du support optique.

Le réseau SDH d'Algérie Télécom utilisent couramment les débits de 622 MB/S, 2,5 Gb/s et 10 Gb/s. Cependant, les limitations des lasers et la disponibilité de fibre optique font que l'augmentation des débits dans cette technologie n'est pas envisageable au-delà d'un certain point, d'où l'apparition de nouvelles technologies qui fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes.

Références

- [1] AMARI Malika, HAMRI Bellel, Etude et evaluation d'une chaine de transmission optique point à point avec une longueur d'onde $1.55\mu\text{m}$, mémoire de Master, université de Saida, 2017.
- [2] DJELLOUT Hocine, Etude de l'influence des composantes d'un laser a fibre optique sur la puissance de sortie et la stabilité du laser, mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, 2009.
- [3] MOUSSOUNI Sofiane, Etude et configuration d'une liaison à fibre optique a base SDH, mémoire de Master, université de Tizi-Ouzou, 2015.
- [4] LECOY Pierre, Télécoms sur fibres optiques, HERMES, Paris, 1991.
- [5] BELKHIRA A, MOKRANI S, L'amplification optique et son intérêt majeur dans les réseaux de télécommunications, mémoire de Master. Institut National des télécommunications et des technologies de l'information et de la communication, 2010.
- [6] John A, Fundamentals of optical fibers, 2nd Edition, 1995.
- [7] ABDELLIET Farida, DERRADJI Nassima, Etude et application de la transmission DWDM par fibre optique à haut débit, mémoire de Master, université de Tizi-Ouzou, 2011.
- [8] OUADGUI Ahmed, Contrôle de la dispersion chromatique dans les fibres optiques à cristaux photoniques à Profil d'indice non standard, mémoire, université Abd El Malek Assaadi, 2010.
- [9] RICHTER Amana Ch, HECKMANN O, Effet Kerr, TP Master 1 Physique, université de Cergy-Pontoise, Effet Kerr www.u-cergy.fr.
- [10] « RAMAN EFFET », article présentée par Michel DELHAYE, Encyclopædia Universalis, 19 juin 2018. URL: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/effet-raman>.
- [11] VERNEUIL Jean-Louis, Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbits/s, thèse de Doctorat, université de Limoges, 2003.
- [12] BENEDINEET Thinhinane, BESSEDIK Fatma, Liaison par fibre optique à haut débit : Etude des liaisons poly chromatiques, mémoire de Master, université de Tizi-Ouzou, 2011.
- [13] LECOY Pierre, Communications sur fibres optiques, tome 1, 4 eme édition, 2014.
- [14] BERROUANE Wassila, Etude de conception d'une chaine de transmission optique à très haut débit à base de semi-conducteur du type III-nitrures, thèse de doctorat, université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, 2018.
- [15] LAOUBI M'hena, Etude d'un réseau intranet par fibre optique, mémoire de master, université de Tizi-Ouzou, 2017.
- [16] BALEMBOIS François, FORGET Sébastien, Laser et optique non linéarité :

Description des mécanismes d'émission-absorption, Institut d'Optique Graduate School. Université Paris –Nord.

- [17] BILLAMI Hanane, BENDAHMANE Raouida, Etude d'un réseau optique ADM 10Gbit/s, mémoire de Master, université Abou Bekr Belkaid, 2013.
- [18] GIRONDI Victor, Étude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe, Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie, 2016.
- [19] FOGNO OUAMBO Baudelaire, Optimisation d'un banc de test amplifié à 10 Gb/s pour l'étude des technologies avancées de transmission par fibre optique, thèse de Maitrise, école de technologie supérieure Montréal, 2008.
- [20] LECOY Pierre, Télécom sur fibres optiques, 3ème édition revue et augmentée.
- [21] LEFRANCOIS Mathieu, étude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40gbps, thèse de Doctorat, 2007.
- [22] TOFFANO Zeno, Optoélectronique : Composants photoniques et fibres optiques, Ellipses : Paris, 2000.
- [23] LAURENT Jérôme, Communications optiques à très haut débit, examain probatoire spécialité électronique, paris, 2004.
- [24] AIB Samia, Modélisation d'un photodétecteur dans une chaîne de transmission par fibre optique. Application aux composants optohyperfréquences, Mémoire de Magister, université Mentouri Constantine.
- [25] KHERICI Cheikh, Etude comparative des différentes méthodes de multiplexage optique pour les télécommunications, thèse de Doctorat, université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbes, 2021.
- [26] AGOUNE Abdelouaheb, DIFALLAH Billal, Analyse de la Suppression du Bruit pour les Systèmes SAC-OCDMA avec les Codes à Inter-Corrélation Fixe, mémoire de Master, université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi Bordj Bou Arreridj, 2020.
- [27] ASNOUNI Siham, MEKLLECHE Naima, Etude et caractérisation d'une chaîne de transmission optique à 40 Gigabit/S, mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, 2018.
- [28] BOUBRIK Nacer, CHAMEK Said, FERHANI Samia, Etude et Application de la transmission SDH via fibre optique, mémoire de Master, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2009.
- [29] KABENE Dyhia, Etude et configuration d'une liaison SDH 2,5 Gb/s, mémoire de Master, université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2015.

Site internet :

- [30] www.chireux.fr
- [31] www.najjarm.weebly.com
- [32] www.univ-bejaia.dz
- [33] www.technologuepro.com
- [34] www.hella.com
- [35] www.algeriatelecom.dz
- [36] www.huawei.com