

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la A Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'Electronique

Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE

Spécialité : **Télécommunications et Réseaux**

Filière : **Génie Electrique**

Présenté par :
Sofiane MOUSSOUNI

Mémoire dirigé par M^r ALOUACHE et co-dirigé par M^{me} OUNNOUH

Thème

Etude et configuration d'une liaison a fibre optique a base SDH

Mémoire soutenu publiquement le 9 JUILLET 2015 devant le jury composé de :

M LAZRI Mourad
MC/B, UMM/TO, Président

M ALOUACHE Djamal
MA/B, UMM/TO, Encadreur

M OUALLOUCHE Fethi
MA/A, UMM/TO, Examineur

M SEHAD Mounir
MA/A, UMM/TO, Examineur

Remerciements

Je tiens à remercier Dieu, tous puissant de m'avoir donné la santé, le courage et la volonté d'effectuer ce modeste travail.

Au terme de ce présent travail, je tiens à remercier :

Mon promoteur Mr ALOUACHE. Pour avoir accepté de m'encadrer et pour son suivi et ses conseils.

Je remercie vivement mon encadreur M^{me} OUNNOUH et l'ensemble de personnel de l'entreprise « ALGERIE TELECOM » plus spécialement ceux de département « CRMT » pour les conseils qu'ils ont pu me prodiguer au cours de mon stage.

Enfin, je tiens à remercier tous ceux qui ont contribués de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce travail

*A mes chers parents qui m'ont soutenu durant tout le cursus de
mes études.*

A mon frère Ali

A mes sœurs Ghania, Thanina et Thiziri.

A tous mes amis

SOMMAIRE

<u>Introduction</u>	1
<u>CHAPITRE I : Système de télécommunication optique</u>	
I.1. Préambule	3
I.2. Concepts de l'optique	3
I.2.1. Indice de réfraction	3
I.2.2. Chemin optique	4
I.2.3. Théorèmes optiques	4
A. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion	4
B. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction	5
C. La diffusion	5
D. La diffraction	5
I.3. Description d'un système de transmission optique	6
I.4. L'émetteur	7
I.4.1. La Source optique	7
A. Semi-conducteur	7
B. Les diodes électroluminescentes (DEL)	9
C. Les diodes laser (DL)	10
I.4.2. La Modulation	10
A. Modulation directe	10
B. Modulation externe	11
I.5. Fibre optique	11
I.5.1. Description du la fibre optique	11

I.5.2. Principe de la propagation dans la fibre optique	12
I.5.3. Types de la fibre optique	13
A. Fibres multimodes	13
B. Fibres monomodes	14
I.5.5. Caractéristiques de la fibre optique.....	14
A. Ouverture numérique	14
B. Atténuation.....	15
C. Dispersion	16
D. Avantages et inconvénients des fibres optiques.....	17
I.6. Les amplificateurs optiques.....	18
I.6.1. Les amplificateurs optiques (EDFA)	18
I.6.2. Les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC).....	19
I.7. Le récepteur.....	20
I.7.1. Photodiode	21
A. Principe de fonctionnement	21
B. Les différents types de photodiodes	21
B.1. Les photodiodes (PIN)	22
B.2. Photodiode à avalanche (APD)	22
I.7.2. La décision	22
I.8. Discussion	23
 CHAPITRE II : <u>Réseaux de transmission de données</u>	
II.1. Préambule.....	24
II.2. Réseaux de télécommunications.....	24
II.2.1. Les différents types des réseaux de télécommunications.....	24
A. Réseaux téléphoniques.....	24
B. Réseaux de diffusion.....	25
C. Réseaux informatiques.....	25

II.2.2. Classification des réseaux de télécommunications	25
A. Réseau personnel PAN (Personal Area Network).....	26
B. Réseau local LAN (Local Area Network).....	26
C. Réseau métropolitains MAN (Métropolitan Area Network).....	26
D. Réseau étendu WAN (Wide Area Network).....	26
II.2.3. Topologie des réseaux	27
A. Topologie en bus	27
B. Topologie en étoile.....	27
C. Topologie en anneau.....	28
D. Topologie des réseaux hybride.....	28
II.3. La transmission de données.....	28
II.3.1. Le sens des échanges.....	29
A. Transmission simplex.....	29
B. Transmission half-duplex.....	29
C. Transmission full-duplex.....	29
II.3.2. Modes de transmission.....	30
A. Transmission parallèle.....	30
B. Transmission série.....	30
II.3.3. La synchronisation des transmissions	30
A. Transmission asynchrone.....	31
B. Transmission synchrone.....	31
II.4. La transmission numérique.....	32
II.4.1. Les avantages d'une transmission numérique	32
II.4.2. Transmission numérique MIC (Modulation Impulsion Codage).....	32
II.4.3.1. L'échantillonnage.....	33
II.4.3.2. La quantification	34
II.4.3.3. Le codage	35

A. Codage NRZ.....	35
B. Codage Manchester.....	36
C. Codage HDB _n	36
II.4.3.4. Structure d'une trame MIC de premier ordre.....	37
A. Mot de verrouillage de trame (MVT).....	38
B. La signalisation (IT16).....	38
C. Résultat.....	40
II.5. Multiplexage de données	40
II.5.1. Multiplexage temporelle TDM (Time Division Multiplexing).....	41
II.5.2. Multiplexage fréquentiel FDM (frequency division Multiplexing).....	41
II.5.3. Multiplexage CDMA (Code Division Multiple Access).....	42
II.6. La hiérarchie numérique.....	43
II.7. Discussion.....	43
 CHAPITRE III : Technologie de transmission numérique haut débit	
III.1. Préambule.....	44
III.1. La Hiérarchie Numérique Plésiochrone (PDH).....	44
III.2. La limite de système numérique PDH.....	45
III.3. La Hiérarchie Numérique Sychrone SDH.....	46
III.3.1. La hiérarchie de multiplexage SDH.....	46
A. Le Conteneur (Cn)	47
B. Le conteneur virtuel (VCn).....	47
C. L'unité tributaire (TUn).....	48
D. Groupe d'unités tributaire(TUG).....	49
E. Le conteneur virtuel d'ordre supérieur (VC-HO).....	49
F. L'unité administrative (AU).....	49
G. Le Groupe d'Unité Administrative(AUG).....	49

III.3.2. Trame de base du SDH.....	50
A. L'en-tête de section de régénération (RSOH).....	50
B. L'en-tête de section de multiplexage (MSOH).....	51
C. Le pointeur (PTR).....	52
C.1. La justification.....	53
D. Le surdébit de gestion (POH).....	54
III.3.3. La trame STM-n.....	56
III.3.4. La Composition d'un réseau SDH.....	56
III.3.4.1. Les multiplexeurs SDH.....	57
A. Multiplexeur d'insertion /extraction (MIE)	57
B. Multiplexeur terminal simplifié(MTS).....	57
III.3.4.2. Les régénérateurs.....	58
III.3.4.3. Les brasseurs (DXC; Digital Cross-Connect).....	58
III.3.4.4. Schéma du canal de communication.....	59
III.3.5. Topologie des réseaux SDH.....	59
A. Topologie point a point.....	60
B. Topologie en anneau.....	60
III.3.6. Synchronisation des réseaux SDH	61
III.4. Multipléxage WDM (Wavelength Division Multiplexing).....	62
III.4.1. Principe du WDM	62
III.4.2. La technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).....	63
III.4.3. Relation entre DWDM et SDH.....	63
III.5. Discussion.....	64

CHAPITRE IV : Installation et mise en service des liaisons optiques

haut-débit d'Algérie Telecom

IV.1. Présentation de l'entreprise Algérie Télécom.....	65
IV.2. Dimensionnement de la liaison optique 2,5 Gb/s Tizi-Ouzou /Draa El Mizan.....	66
IV.2.1. La pose de la fibre optique.....	67
IV.2.2. Présentation de l'équipement Optix OSN 3500 (2.5 Gb/s).....	67
IV.2.3. Caractéristiques de l'Optix OSN 3500 (2.5 Gb/s).....	68
IV.2.4. Architecture de système de l'Optix 3500.....	68
IV. 3. Description de la plateforme U 2000.....	72
IV. 3.1. La position de U 2000 dans un réseau de gestion des télécommunications.....	72
IV. 3.2. Couche de gestion de réseau.....	73
IV.4. Configuration d'un équipement 2.5 Gb/s Optix OSN 3500 "HUAWEI".....	74
A. Lancer U2000 (serveur client).....	74
B.Rechercher et créer les équipements du réseau.....	75
C. Charger les cartes optiques et électriques installées sur l'équipement..	76
D. Création de système logique.....	78
E. Configuration des services SDH (VC-4 et E1).....	78
IV.5. Test de liaison.....	80
IV. 5.1. Liaison optique.....	80
A. Appareil émission /réception.....	80
B. Le Réflectomètre.....	81
IV. 5. 2. Liaison électrique.....	81
Conclusion.....	82
Annexe.....	
Bibliographie.....	

Glossaire

A

ADM	Add Drop Multiplexeur
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AU	Administrative Unit
ADSL	Asymmetrical Data Subscriber Line
AUG	Administrative Unit Group
AOSC	Amplificateur Optiques a Semi-conducteur
APD	Avalanche photodiode
AMI	Alternate Mark Inversion
ALOHA	Réseaux radios par paquets

B

BACKBONE	Réseau fédérateur sur lequel est connecte l'ensemble de réseaux et de sous réseaux
BC	Bande de conduction
BV	Bande de valence
BIT	Binary Digit

C

CA	Centre d'acheminement
CDMA	Code Division Multiple Access
CV	Circuit Virtuel
C-n	Container d'ordre n
CEL	Centre d'Entretien de lignes

D

DEL	Diode Electroluminescent
DL	Diode Laser
DML	Direct Modulated Laser
D-WDM	Dense Wavelength Division Multiplexing

DSLAM Digital Cross-Connect

E

E1 European Digital Signal

EDFA Erbium Doped Fiber Amplifier

F

FDM Frequency division Multiplexing

FEC Forward Error Correction

FO Fibre Optique

H

HDBn High Density Binary

HO-VC High Order VC

L

LAN Local Area Network

LED Light Emitting Diode

LO-VC Low Order VC

M

MAN Métropolitan Area Network

MIC Modulation par Impulsion Codée

MTR Mobile Termination Rate

MVT Mot de Verrouillage de Trame

N

NRZ Non Remise a Zéro

O

ON Overture Numérique

P

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy

PAN Personal Area Network

PIN Personnel Identity Number

PTR Pointeur

PDA Photodiode a Avalanche

R

REG Régénérateur

RNIS Réseau Numérique a Intégrateur de Service

RTC Réseau Téléphonique Commuté

RSOH Regeneration Section Over Head

S

SDH Synchronous Digital Hierarchy

SOH Section over Head

SONET Synchronous Optical Network

STM Synchronous Transport Mode

STS Synchronous Transfer Signal

T

TDM Time Division Multiplexing

TM Terminal Multiplexeur

TU Tributary Unit

TUG Tributary Unit Group

U

UIT Union Internationale de Télécommunications

V

VSAT Very Small Aperture Terminal

VC-n Conteneur Virtuel d'ordre n

W

WAN Wide Area Network

WDM Wavelength Division Multiplexing

Listes des figures

Chapitre I

Figure I.1. La réflexion.....	4
Figure I.2. La réfraction.....	5
Figure I.3. La diffusion.....	5
Figure I.4. La diffraction.....	5
Figure I.5. Schéma de principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde.....	6
Figure I.6. Schéma d'un émetteur optique.....	7
Figure I.7. Structure de bande d'un semi-conducteur, (BC) bande de conduction, (BV) bande de valence.....	8
Figure I.8. Schéma des processus fondamentaux (a) d'émission spontanée, (b) d'émission stimulée, (c) d'absorption.....	9
Figure I.9. (a) schéma de principe de la diode laser, (b) apparence extérieure de la diode laser.....	10
Figure I.10. Schéma de principe de la modulation directe.....	10
Figure I.11. Schéma de principe de la modulation externe.....	11
Figure I.12. Structure de la fibre optique.....	12
Figure I.13. Principe de la propagation dans la fibre.....	12
Figure I.14. Fibre multimode à saut d'indice.....	13
Figure I.15. Fibre multimode à gradient d'indice.....	14
Figure I.16. Fibre monomode.....	14
Figure I.17. Ouverture numérique	14
Figure I.18. Phénomène d'atténuation.....	15
Figure I.19. Différentes origines des pertes par atténuation.....	16
Figure I.20. Phénomène de Dispersion.....	16
Figure I.21. La Dispersion chromatique.....	17
Figure I.22. La Dispersion modale.....	17
Figure I.23. Schéma d'un amplificateur EDFA.....	19
Figure I.24. Configuration de base d'un amplificateur optique à semi- conducteur.....	20
Figure I.25. Schéma de principe d'un récepteur optique.....	21
Figure I.26. Photodiode PIN.....	22
Figure I.26. Principe de la décision.....	22

Chapitre II

Figure II.1. Réseaux téléphoniques.....	24
Figure II.2. Réseaux de diffusion.....	25
Figure II.3. Réseaux informatiques.....	25
Figure II.4. Classification des réseaux de télécommunications.....	26
Figure II.5. Topologie en bus.....	27
Figure II.6. Topologie en étoile.....	27
Figure II.7. Topologie en anneau.....	28
Figure II.8. Topologie des réseaux hybride.....	28
Figure II.9. Sens des échanges.....	29
Figure II.10. Modes de transmission.....	30
Figure II.11. Transmission asynchrone.....	31
Figure II.12. Transmission synchrone.....	31
Figure II.13. Principe de la transmission numérique.....	32
Figure II.14. Principe de la transmission MIC.....	33
Figure II.15. Principe d'échantillonnage.....	33
Figure II.16. Principe de quantification.....	34
Figure II.17. Allure logarithmique.....	35
Figure II.18. Codage des échantillons.....	35
Figure II.19. Codage NRZ.....	36
Figure II.20. Codage Manchester.....	36
Figure II.21. Codage HDB ₃	37
Figure II.22. Structure d'une trame MIC.....	37
Figure II.23. Structure de mot de verrouillage.....	38
Figure II.24. IT16 de la trame « 0 ».....	39
Figure II.25. IT16 de la trame « n ».....	39
Figure II.26. La trame MIC et les informations de signalisation.....	40
Figure II.27. Principe de multiplexage temporel.....	41
Figure II.28. Principe de multiplexage fréquentiel.....	42
Figure II.29. Illustration de la technique CDMA.....	43

Chapitre III

Figure III.1. La hiérarchie numérique PDH.....	44
Figure III.2. Démultiplexage de la PDH.....	45
Figure III.3. Structure de la hiérarchie numérique synchrone (SDH).....	47
Figure III.4. Conception d'un conteneur virtuel.....	48
Figure III.5. Conception d'une unité tributaire.....	48
Figure III.6. Conception d'une TUG à partir de 3 Tus.....	49
Figure III.7. La structure d'une trame de base STM-1.....	50
Figure III.8. Structure de la RSOH.....	50
Figure III.9. Structure de la MSOH.....	51
Figure III.10. Structure de pointeur.....	52
Figure III.11. Structure de POH.....	54
Figure III.12. Le surdébit de gestion inférieur.....	55
Figure III.13. Infrastructure du réseau SDH.....	56
Figure III.14. Multiplexeur d'insertion /extraction (MIE).....	57
Figure III.15. L'utilisation d'un Multiplexeur terminal simplifié(MTS).....	57
Figure III.16. Régénérateur.....	58
Figure III.17. Les brasseurs DXC.....	58
Figure III.18. Schéma du canal de communication.....	59
Figure III.19. Structure de la Topologie point à point.....	60
Figure III.20. Architecture en anneau unidirectionnel.....	60
Figure III.21. Architecture en anneau bidirectionnel.....	61
Figure III.22. La repartition des horloges sur un réseau SDH.....	61
Figure III.23. Multiplexage WDM.....	62
Figure III.24. La relation entre le système de DWDM et les autres services.....	64

Chapitre IV

Figure IV.1. Liaison optique 2,5 Gb/s Tizi Ozou-Draa El Mizan.....	66
Figure IV.2. L'équipement Optix OSN 3500.....	67
Figure IV. 3. Architecture de système de l'Optix 3500.....	69
Figure IV. 4. Schéma asymptotique de la liaison a 2,5Gbit/s.....	70

Figure IV.5. Position de U 2000 dans un réseau de gestion des télécommunications.....	72
Figure IV.6. Position de U 2000 dans la couche de gestion de réseau.....	73
Figure IV.7. Interface graphique d'U2000.....	75
Figure IV.8. Fenêtre qui permet de recherche les équipements.....	75
Figure IV.9. Processus qui permet de sauvegarder l'équipement trouvé.....	76
Figure IV.10. Les modes de configurations de l'équipement.....	77
Figure IV.11. Fiche technique de l'équipement.....	77
Figure IV.12. Création de system logique.....	78
Figure IV.13. Création des services VC-12, VC-3 et VC-4.....	79
Figure IV.14. Configuration de service créé.....	79
Figure IV.15. Principe de la mesure avec le radiomètre.....	80

Listes des tableaux

chapitre I

Tableau I.1. Indice de réfraction de quelques substances.....	3
--	---

chapitre III

Tableau III.1. Les différentes hiérarchies numériques PDH	45
Tableau III.2. Correspondances affluent-conteneur.....	47
Tableau III.3. Correspondance niveaux de multiplexage-debit.....	48
Tableau III.4. Fonctions des octets de la RSOH.....	51
Tableau III.5. Fonctions des octets de la MSOH.....	52
Tableau III.6. Fonctions des octets de pointeur.....	53
Tableau III.7. Fonctions des octets de surdébit de gestion (POH).....	55
Tableau III.8. Répertoire des debits de la hiérarchie SDH/SONET.....	56

chapitre IV

Tableau IV.1. Différentes cartes de l'OSN 3500.....	68
Tableau IV.2. Table de Configuration des Timeslot.....	71

Introduction

INTRODUCTION

Au cours du 20^{ème} siècle, les moyens de communication à distance se sont largement développés et évolués grâce aux avancées technologiques dans le domaine de la télécommunication, ou y avait deux types de supports de transmission qui dominaient sur les échanges de données : câbles coaxiaux et liaisons hertziens, qui peuvent transmettre des données à un débit atteignant 270Mbit/s [1].

Cependant l'apparition des nouvelles applications telles que la visioconférence, la télévision haute définition ajoutée à la croissance démographique, résultent une demande excessive en termes de bande passante chose que ces deux supports ne supportent plus. La solution la plus simple et la plus convoitée pour répondre à cette demande est l'utilisation de la fibre optique comme support de transmission.

Comparée aux autres supports de transmission existants, la fibre présente une atténuation quasiment constante sur une énorme plage de fréquences (plusieurs milliers de gigahertz) et offre ainsi l'avantage de bandes passantes gigantesques, permettant d'envisager aujourd'hui la transmission de débits numériques très importants (plusieurs téraoctet/seconde) [12].

Et depuis l'introduction de la fibre optique dans les systèmes de transmissions de données optiques, de nombreux progrès techniques et technologiques ont fait évoluer les réseaux, et c'est ainsi qu'est apparue à la fin des années 80 une nouvelle hiérarchie de transmission appelée " synchronous digital hierarchy " (SDH) basée sur le multiplexage temporel (TDM). Cette hiérarchie repose sur une trame numérique de niveau élevé qui apporte une facilité de brassage et d'insertion/extraction des niveaux inférieurs, et elle permet ainsi de remédier aux inconvénients de la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH).

La communication optique a subi une révolution importante dans les années 90 avec l'apparition d'une technique de Multiplexage en longueur d'onde appelé WDM (Wavelength Division Multiplexing) basée sur l'envoi d'ondes lumineuses multiples (fréquences) dans une même fibre optique ce qui a permis d'atteindre des débits de transmission de 40Gbit/s voire plus.

L'objectif de ce travail est de mettre en sévices une liaison optique SDH à un débit de 2,5 Gbit/s reliant Draa El Mizan à Tizi-Ouzou en utilisant l'équipement Optix OSN 3500 de Huawei.

Et pour ce faire, ce rapport est devisé en quatre chapitres : Dans le premier chapitre nous allons décrire les trois blocs (émetteur, support de transmission et le récepteur) de système de télécommunication optique, ensuite dans le second chapitre nous allons présenter les types des réseaux de transmissions ainsi que leurs caractéristiques. Puis, nous nous détaillerons dans le troisième chapitre les principales hiérarchies de multiplexages (PDH, SDH et WDM) constituant les réseaux métropolitains.

Et enfin dans le dernier chapitre nous allons mettre en œuvre une liaison optique en poursuivant toutes les étapes nécessaires tout en veillant a présenter le logiciel U2000 qui assure aux ingénieurs d'Algérie Telecom de configurer les services SDH sur les équipements HUAWEI.

Chapitre I

Systeme de télécommunication optique

I.1. Préambule

Depuis 25 ans, la fibre optique a supplanté le câble coaxial dans la plupart des réseaux de télécommunications sur support, tout du moins pour les hauts débits. Mais son apparition a nécessité la conception et le développement de nouveaux composants optiques ou optoélectroniques performants. Nous présenterons dans ce chapitre les composants constituant un système de transmission numérique sur fibre optique, seulement avant cela nous tenterons à décrire les principaux concepts de l'optique.

I.2. Concepts de l'optique

La base de tous les systèmes optiques d'aujourd'hui est les concepts de base de l'optique apparue jadis, nous allons présentés ci-dessous les principaux fondements de l'optiques :

I.2.1. Indice de réfraction

La vitesse de la lumière varie sensiblement selon les différentes densités des matériaux qu'elle traverse. Pour caractériser la densité des matériaux, on définit le paramètre l'indice de réfraction n . La définition la plus répandue pour l'indice de réfraction est qu'il est la quantité résultant du rapport entre la vitesse de la lumière c dans le vide, et la vitesse de phase v de la lumière dans ce milieu. Plus l'indice est grand, et plus la lumière est lente [6].

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu \cdot \epsilon} \quad (I.1)$$

Avec :

μ : perméabilité du milieu

ϵ : permittivité du milieu

La vitesse de la lumière dans le vide ($C = 299\,792\,458$ Km/s)

v : est la vitesse de la lumière dans le milieu

Substances	Indice de réfraction (n)
Glace	1,31
Eau	1,33
Alcool	1,36
Sel	1,54
Verre	1,50

Tableau I.1.Indice de réfraction de quelques substances

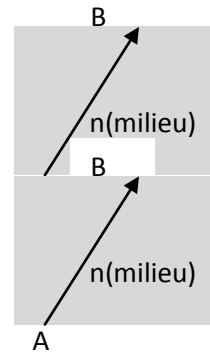
I.2.2 Chemin optique

Le chemin optique permet d'interpréter géométriquement l'influence de l'indice de réfraction des milieux sur la vitesse de la lumière. Le chemin optique est égal à la distance que la lumière aurait parcourue pendant le même temps dans le vide. Dans un milieu homogène, le chemin optique (L_{AB}) parcouru par le rayon lumineux entre deux points A et B s'exprime:

$$L_{AB} = n \cdot AB = c/v \cdot AB = c \cdot t \quad \text{I.2}$$

D'où

- L_{AB} est le chemin optique entre les points A et B ;
- n est l'indice de réfraction du milieu homogène ;
- c est la vitesse de la lumière dans le vide ;
- v est la vitesse de la lumière dans le milieu joignant les points A et B ;
- ct est le temps du trajet de la lumière entre A et B à la vitesse v .



Cette relation montre que, le chemin optique entre deux points A et B est défini comme la distance [AB] parcourue par un rayon lumineux multipliée par l'indice de réfraction n que le rayon a rencontré lors de son trajet.

Dans les milieux autres que le vide, les propriétés diélectriques des matériaux introduisent une modification de la vitesse de la lumière. La vitesse de la lumière, notée v est liée à l'indice optique n du milieu par la relation :

$$v = \frac{c}{n} \quad \text{I.3}$$

I.2.3. Théorèmes optiques

A. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

La réflexion est le renvoi de la lumière par la surface qui la reçoit. La première loi de Descartes précise que : « le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence ; l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion en valeur absolue $\theta_1 = -\theta_2$ »

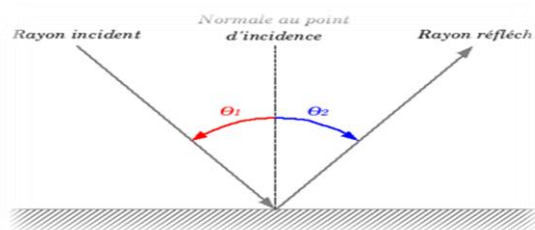


Figure I.1. La réflexion

B. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction

La réfraction est la déviation subie par les rayons lumineux à la traversée de la surface séparant deux milieux transparents. La deuxième loi de Descartes stipule que : «le rayon réfracté est dans le plan d'incidence ; les indices de réfraction n_1 et n_2 de chacun des milieux et les angles incident θ_1 et réfracté θ_2 sont reliés par la relation suivante :

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad \text{I.4}$$

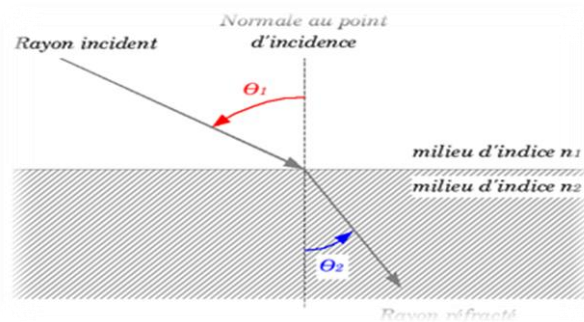


Figure I.2. La réfraction

C. La diffusion

La diffusion d'un rayon lumineux se définit par la répartition dans toutes les directions de l'espace d'un rayon incident au contact d'un matériau.

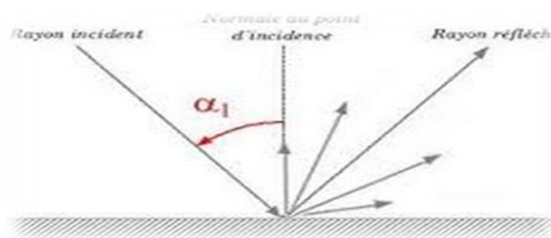


Figure I.3. La diffusion

D. La diffraction

La diffraction se traduit par un changement de direction du rayon lumineux lorsqu'il traverse une ouverture à faible diamètre.

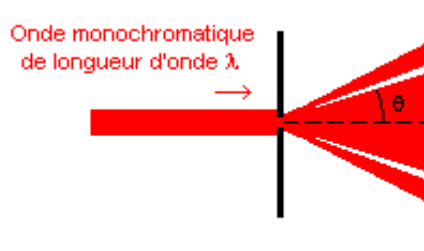


Figure I.4. La diffraction

I.3. Description d'un système de transmission optique

La figure 1.5 montre un schéma de principe d'un système de transmission optique qui est composé d'un bloc d'émission, une ligne de transmission et un bloc de réception.

Le bloc d'émission a pour rôle de convertir le signal électrique portant l'information en un signal optique. Pour ce faire, une diode laser génère un signal optique qui peut être modulé directement par modulation du courant à son entrée (cas du DML), ou de manière externe en utilisant des modulateurs à sa sortie (cas de la modulation externe). Le signal est ensuite injecté dans la ligne de transmission qui est composée d'une succession de fibres optiques suivies d'amplificateurs optiques EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) afin de transmettre des informations sur de longues distances. Dans le cas des systèmes d'accès, un seul tronçon de fibre sera employé, sans amplificateur. Dans le bloc de réception, le signal optique est reçu, puis converti en un signal électrique par le biais d'une photodiode. Ensuite, après filtrage, le signal électrique est séparé en deux voies : la première est utilisée à la récupération d'horloge, et la seconde au circuit de décision. Ce dernier compare l'amplitude du signal reçu avec un seuil à chaque instant de décision fourni par l'horloge.

À la sortie du circuit de décision, le signal électrique est ainsi remis en forme et contient l'information reçue. Une correction éventuelle des erreurs est effectuée par les codes correcteurs d'erreurs (FEC, Forward Error Correction). Les opérateurs demandent aux équipementiers de fournir un système de télécommunication présentant un taux d'erreur binaire environ inférieur à 10^{-12} suivant la norme de l'UIT (Union International des Télécommunication) [1].

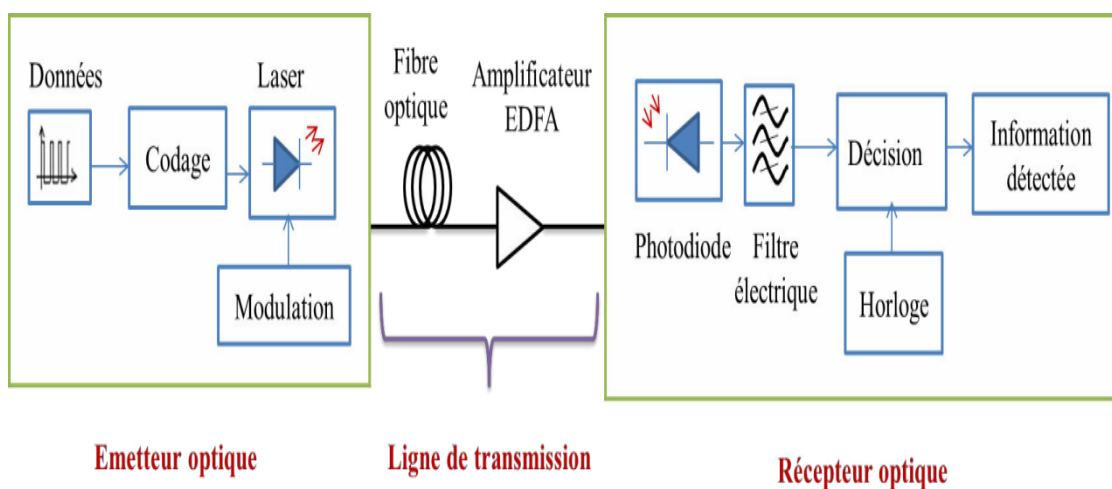


Figure I.5. Schéma de principe d'un système de transmission optique à une seule longueur d'onde

I.4. L'émetteur

La partie émission d'une liaison optique est composée de divers éléments (laser, modulateur, driver). Son rôle est de délivrer au support de transmission un signal optique sur lequel sont inscrites les données. Les données contenant l'information dans un signal électrique vont être utilisées pour moduler la lumière de la source optique soit par modulation directe du courant de la diode laser, soit par l'utilisation d'un modulateur optique externe, comme indiqué sur la figure 1.6.

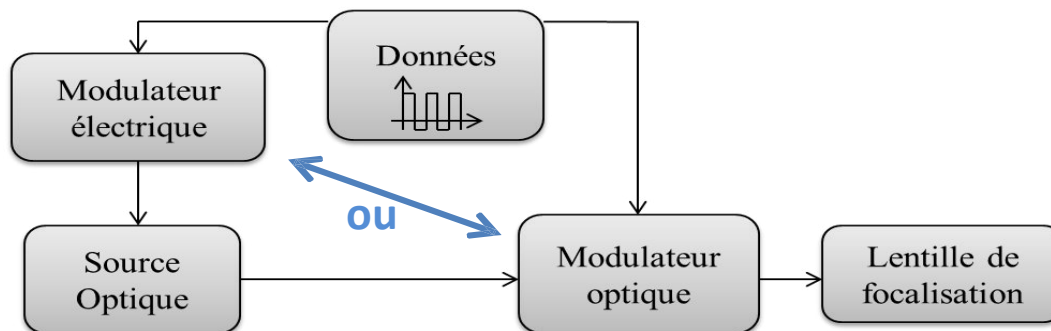


Figure I.6. Schéma d'un émetteur optique

I.4.1. La Source optique

Les sources optiques sont des composants actifs dans le domaine de la communication par fibre optique. Leurs fonctions fondamentales sont de convertir une énergie électrique en une énergie optique (conversion électro-optique) avec un rendement satisfaisant et assurer un bon couplage avec la fibre. En télécommunication optique la nécessité d'utiliser des bandes passantes de plus en plus larges impose le choix des sources à spectres réduites telles que les diodes laser (DL) et les diodes électroluminescentes (DEL), ces deux sources sont réalisées à base de semi conducteur et à partir de jonction PN polarisée en direct, le principe d'émission est du à la recombinaison des paires électron-trou.

A. Semi-conducteur

Un semi-conducteur est composé d'une couche de conduction dopée par des électrons et une couche de valences dopée par des trous. Ces deux couches sont séparées par une couche d'énergie appelée couche active. En équilibre thermique, les électrons occupent principalement le bas de la bande de conduction tandis que les trous sont au sommet de la bande de valence. La figure 1.6 illustre la recombinaison radiative de la paire électron-trou afin de générer des photons d'énergie $E_g = h\nu$.

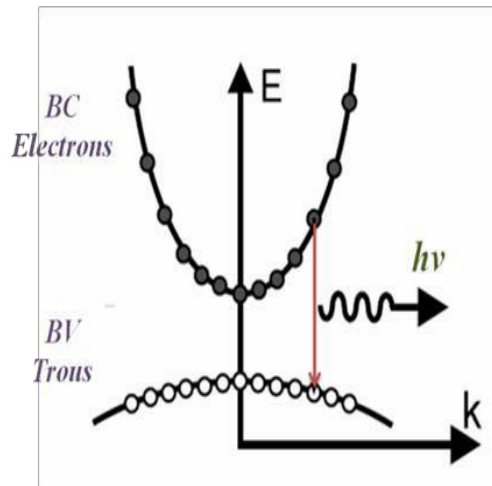


Figure I.7. Structure de bande d'un semi-conducteur, (BC) bande de conduction, (BV) bande de valence

Dans un semi-conducteur, un électron peut passer d'un état à un autre de trois manières différentes:

- **L'émission spontanée** (figure 1.8.a) :

L'électron passe de la couche de conduction définie par une énergie E_c vers la couche de valence définie par une énergie E_v . La recombinaison entre ces deux charges génère un photon sous forme de $E_g = E_c - E_v = h\nu$. Les photons sont émis d'une manière aléatoire par rapport à l'onde incidente, et les ondes émises ne sont pas en phase.

- **L'émission stimulée** (figure 1.8.b) :

C'est un processus provoqué par un photon incident (ΔE), qui force la désexcitation de l'électron et passe de la couche supérieure vers la couche inférieure.

Les diodes lasers émettent de la lumière à travers le processus d'émission stimulée, on dit qu'elle émet de la lumière cohérente et fonctionne à l'aide d'un milieu amplificateur d'une structure résonnante et d'un processus de pompage.

- **L'absorption** (figure 1.8.c):

Ce processus est l'inverse du phénomène précédent : l'électron passe de la couche de valence vers la couche de conduction avec absorption d'un photon. La lumière est atténuée en raison du phénomène d'absorption se produisant à l'intérieur du milieu.

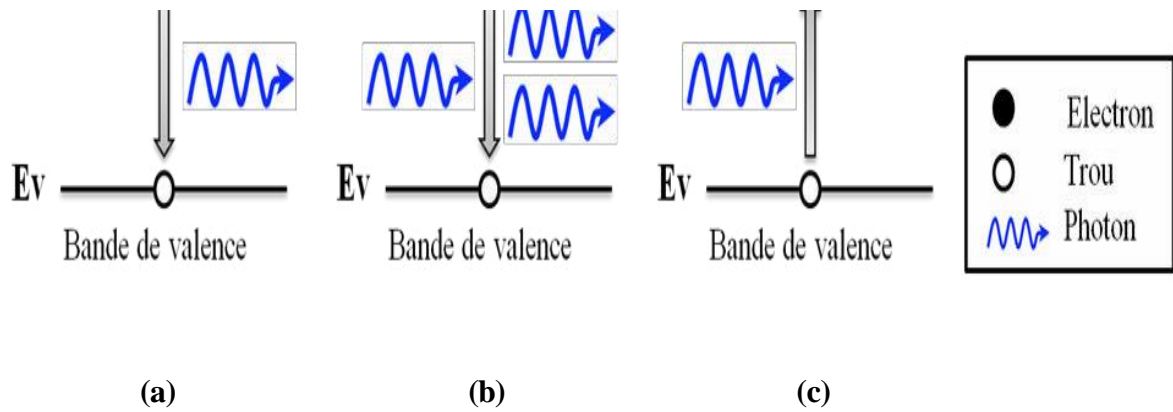


Figure I.8. Schéma des processus fondamentaux (a) d'émission spontanée, (b) d'émission stimulée, (c) d'absorption

B. Les diodes électroluminescentes (DEL)

Une diode électroluminescente est un composant optoélectronique capable d'émettre de la lumière lorsqu'il est parcouru par un courant électrique. Une diode électroluminescente ne laisse passer le courant électrique que dans un seul sens (le sens passant, comme une diode classique, l'inverse étant le sens bloquant) et produit un rayonnement à partir de la conversion d'énergie électrique lorsqu'un courant la traverse.

Les diodes sont constituées, suivant le principe de base, d'un cristal semi-conducteur possédant deux couches dopées de manières : une couche P positive possédant des trous (emplacements ou il manque un électron pour que les atomes soient complets) et une couche N négative possédant des électrons libres.

Une diode semi-conductrice qui émet de la lumière par émission spontanée, est appelée diode électroluminescente.

La qualité de conversion du courant électrique en lumière est décrite par le rendement quantique, qui désigne le rapport entre le nombre de photons émis par unité de temps et le nombre de charges transportées à travers la jonction-PN de la diode semi-conductrice.

$$\eta_q = \frac{\text{Nombre de photons créés}}{\text{Nombre d'électrons injectés}} \quad (I.5)$$

C. Les diodes laser (DL)

Une diode laser est un composant optoélectronique à base de matériau semi-conducteur son fonctionnement est basé sur l'amplification de la lumière par émission stimulée, son rôle dans un système de transmission consiste à générer un signal optique continu, que nous pourrions ensuite moduler.

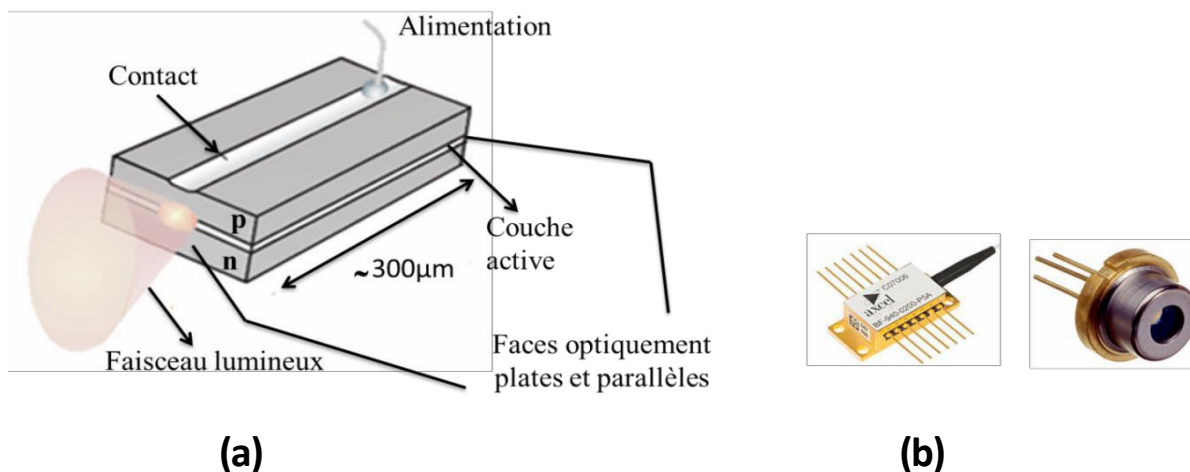


Figure I.9. (a) schéma de principe de la diode laser, (b) apparence extérieure de la diode laser

I.4.2. La Modulation

La modulation est représenté comme un système qui a le pouvoir d'agir sur les propriétés d'une onde lumineuse (amplitude d'oscillations phase et sa direction de propagation) selon le signal du commande qui lui a été injecté. On distingue deux types de modulation :

A. Modulation directe

La modulation directe consiste à moduler directement le courant (information) injecté à l'entrée de la diode, et plus le courant reçu par la diode est important plus l'intensité lumineuse qu'elle délivra sera puissante.

La figure 1.10 illustre le principe d'un modulateur direct. Il est composé d'un générateur binaire causant une séquence binaire qui définit l'information et d'un driver qui a pour rôle de commander la source optique en niveaux de puissance émise (en fixant les valeurs du courant d'alimentation).

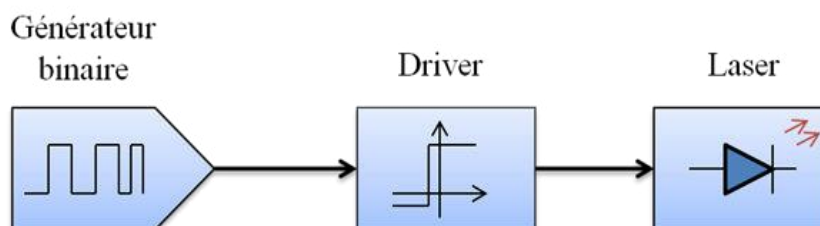


Figure I.10. Schéma de principe de la modulation directe

B. Modulation externe

La modulation externe consiste à écrire les données électriques sur un signal optique continu. Elle est obtenue en modulant directement le faisceau lumineux en sortie du laser et non plus le courant d'alimentation à l'entrée du laser. Ainsi les défauts de la modulation directe qui incombent au laser ne seront plus présents sur le signal optique.

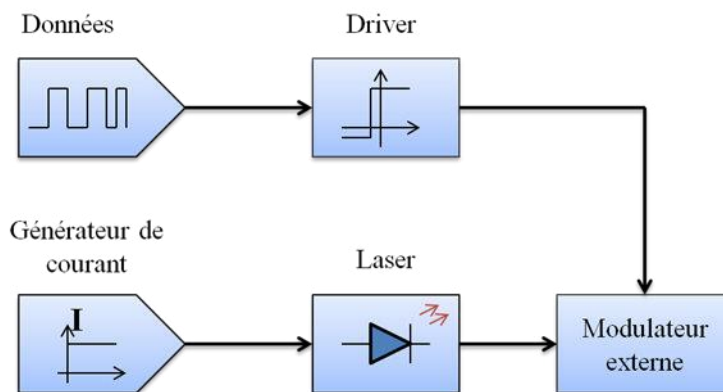


Figure I.11. Schéma de principe de la modulation externe

I.5. Fibre optique

L'invention du laser en 1960 a permis la réalisation des premières transmissions des données par fibre optique sur des grandes distances. Cependant, les pertes par absorption dans une fibre optique étaient telles que le signal disparaissait au bout de quelques centimètres, ce qui la rendait peu avantageuse par rapport au fil de cuivre traditionnel. Les trop grandes pertes encourues par un verre de mauvaise qualité constituaient le principal obstacle à l'utilisation courante de la fibre optique. En 1970, trois scientifiques de la compagnie Corning Glass Works de New York, Robert Maurer, Peter Schultz et Donald Keck, produisirent la première fibre optique avec des pertes suffisamment faibles pour être utilisée dans les réseaux de télécommunications (20 décibels par kilomètre; aujourd'hui la fibre conventionnelle affiche des pertes de moins de 0,25 décibel par kilomètre). Leur fibre optique était en mesure de transporter 65000 fois plus d'information qu'un simple câble de cuivre.

I.5.1. Description du la fibre optique

La fibre optique est une guide d'onde en verre ou en plastique qui conduit la lumière sur des grandes distances à une vitesse proche de celle de la lumière. La fibre optique est composée de trois parties : **le cœur, la gaine et la protection.**

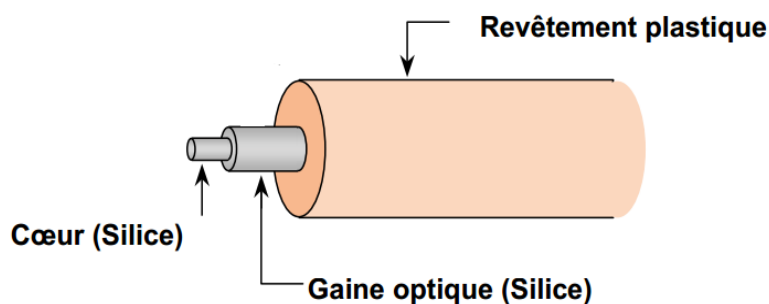


Figure I.12. Structure de la fibre optique

- **Le cœur** : c'est dans cette zone constituée du verre, que la lumière est guidée et se propage le long de la fibre caractérisé par son indice de réfraction n_c .
- **La gaine** : c'est une couche de verre qui entoure la couche cœur et qui est différente de cette dernière en terme de composition. Ces deux couches permettent de confiner la lumière dans le cœur par réflexion totale de la lumière à l'interface cœur-gaine, la gaine est caractérisé par son indice de réfraction n_g ($n_c > n_g$).
- **La couche protection** : c'est un revêtement de protection mécanique qui permet de couvrir la fibre optique et ainsi la protéger des différentes perturbations externes. Elle est caractérisée par un diamètre de $230 \mu\text{m}$.

I.5.2. Principe de la propagation dans la fibre optique

Lorsqu'un faisceau lumineux heurte obliquement la surface qui sépare les deux milieux plus ou moins transparents, il se divise en deux : une partie est réfléchi tandis que l'autre est réfractée c'est ce qui permet de guider la lumière dans la fibre jusqu'à l'extrémité voulu

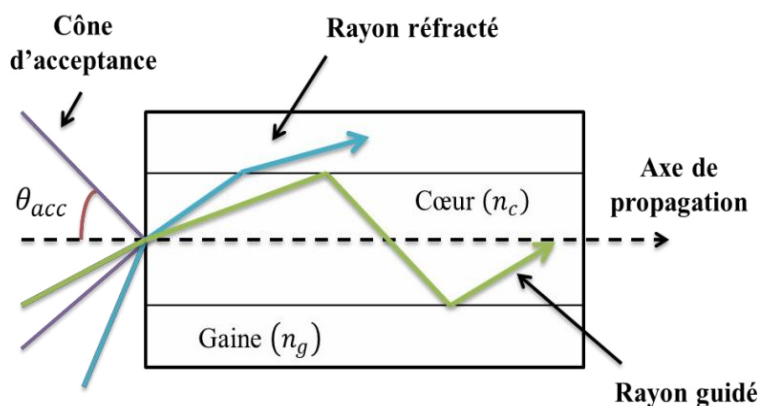


Figure I.13. Principe de la propagation dans la fibre

I.5.3. Types de la fibre optique

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée : les fibres monomodes et multimodes.

A. Fibres multimodes

Les fibres multimodes furent les premières fabriquées. Leurs performances sont de l'ordre du Gb/Km et elles ne sont actuellement utilisées que pour de courtes distances (centaine de mètres).

Les fibres multimodes ont un cœur de diamètre important, variant de 50 à 200 μm , et un verre de moins bonne qualité qui empêche la bonne direction du rayon lumineux dans la fibre optique et entraîne plusieurs problèmes : atténuation, dispersion ext

On distingue de sous catégories des fibres multimodes : les fibres multimodes à saut d'indice et à gradient d'indice.

➤ Fibre multimode à saut d'indice

Le cœur et la gaine présentent des indices de réfraction différents et constants. Le passage d'un milieu vers l'autre est caractérisé par un saut d'indice.

Le faisceau lumineux injecté à l'entrée de la fibre va atteindre la sortie en empruntant des chemins optiques différents ce qui se traduit par des temps de propagation différents et donc un étalement du signal transmis.

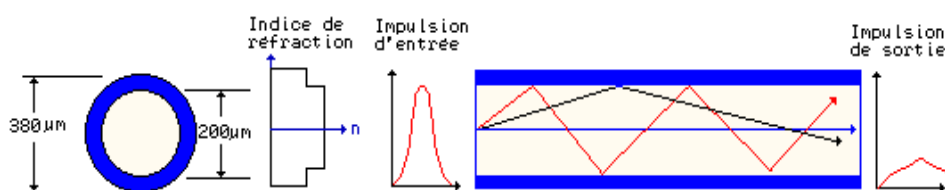


Figure I.14. Fibre multimode à saut d'indice

➤ Fibre multimode à gradient d'indice

Le cœur se caractérise par un indice variable qui augmente progressivement de n_1 à l'interface gaine-cœur jusqu'à n_2 au centre de la fibre. Là aussi les rayons lumineux vont emprunter des chemins différents, mais un choix judicieux du profil d'indice du cœur permet de tendre vers des temps de parcours voisins et donc réduire l'étalement du signal.

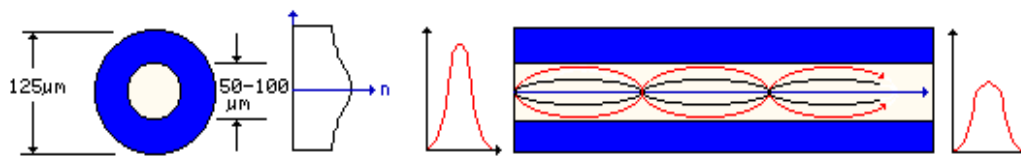


Figure I.15. Fibre multimode à gradient d'indice

B. Fibres monomodes

La fibre optique monomode est constituée d'un cœur du diamètre suffisamment petit par rapport à la gaine de façon à avoir qu'un seul mode de propagation dit mode fondamental.

Ce type de fibre présente une bande passante très large, un niveau de perte faible (0.5 dB/km pour 1.3 et 0.2 dB/Km pour 1,5). Pour cette raison, les fibres monomodes sont universellement utilisées pour des transmissions à haut débit et à longue distance.

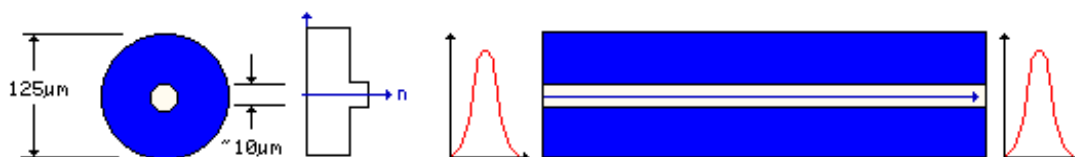


Figure I.16. Fibre monomode

I.5.4. Caractéristiques de la fibre optique

A. Ouverture numérique

Lorsque on introduit un signal lumineux dans une fibre les rayons viennent heurter la surface de coupe de la fibre, ils peuvent être soit réfléchis (donc perdu) soit réfractes (donc transmis), pour qu'ils soient réfractes il faut que l'angle d'incidence de ces rayons reste dans le cône d'acceptance.

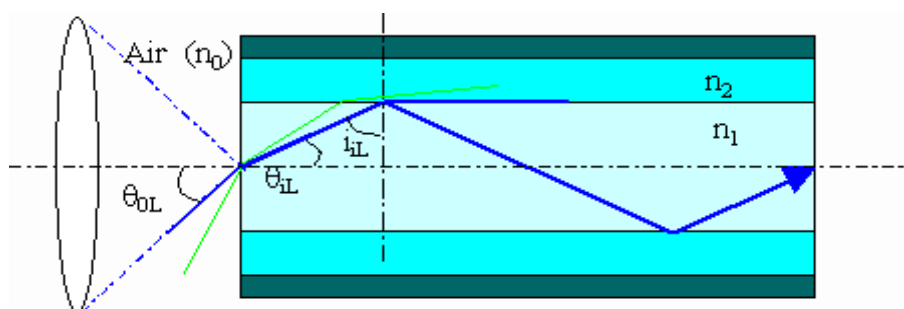


Figure I.17. Ouverture numérique dans la fibre

L'angle d'incidence maximal (θ_{\max}) à l'entrée d'une fibre c'est à dire l'ouverture du cône d'acceptance, appelée ouverture numérique, est défini par la relation suivante :

$$ON = \sin(\theta_{\max}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{I.6}$$

B. Atténuation

L'atténuation se traduit en fibre optique par la perte d'énergie lumineuse dans la fibre. Elle est mesurée en dB/Km. Les longues portées utilisées avec les fibres optiques influent directement sur le signal lumineux, lorsqu'on injecte, à l'entrée d'une fibre optique, une puissance $P_e = P(0)$ sous forme d'une onde électromagnétique, cette puissance décroît avec la longueur L de la fibre optique en fonction de l'atténuation linéique α dB/km, et à la sortie, on récupère la puissance [8].

$$P_s = P(L) = P_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad \text{I.7}$$

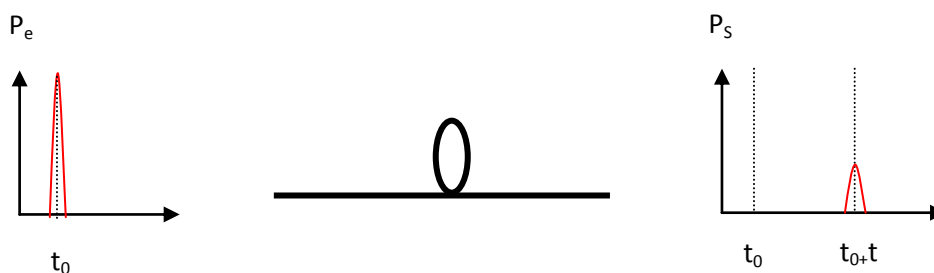


Figure I.18. Phénomène d'atténuation

En pratique l'atténuation d'une liaison optique s'exprime en décibel :

$$\text{Att tot(dB)} = 10 \log \frac{P_{\text{in}}}{P_{\text{out}}} = [P \text{ entrée(dBm)} - P \text{ sortie(dBm)}] \quad \text{I.8}$$

L'atténuation dans la fibre provient des pertes de plusieurs origines :

- ❖ Pertes intrinsèque : dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique.
- ❖ Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.
- ❖ Les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par diffusion (diffusion Rayleigh).
- ❖ Pertes extrinsèques : dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composants.

- ❖ Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement
- ❖ Les microcourbures sont des courbures très faibles, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles.
- ❖ Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.

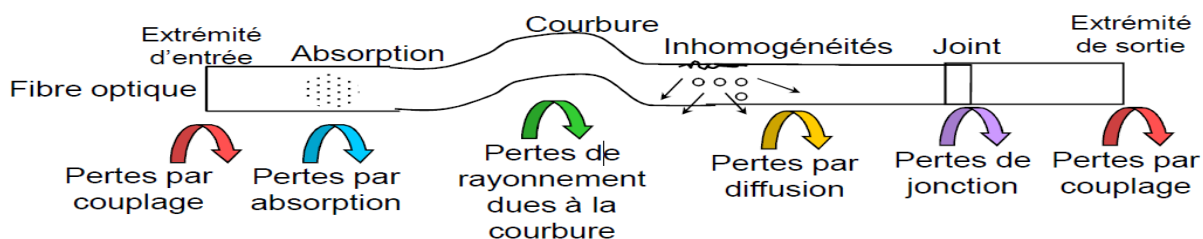


Figure I.19. Différentes origines des pertes par atténuation

C. Dispersion

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique [3].

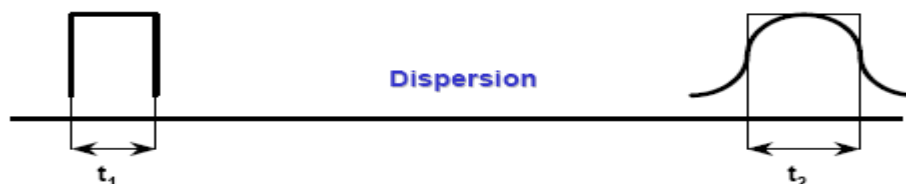


Figure I.20. Phénomène de Dispersion

Il existe deux types de dispersion :

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



Figure I.21. La Dispersion chromatique

- **Dispersion modale** est exprimée en $\text{ps/km}^{1/2}$ et caractérise l'étalement du signal. Ce phénomène est dû à des défauts dans la géométrie des fibres optiques qui entraînent une différence de vitesse de groupe entre les modes se propageant sur différents axes de polarisation de la fibre.

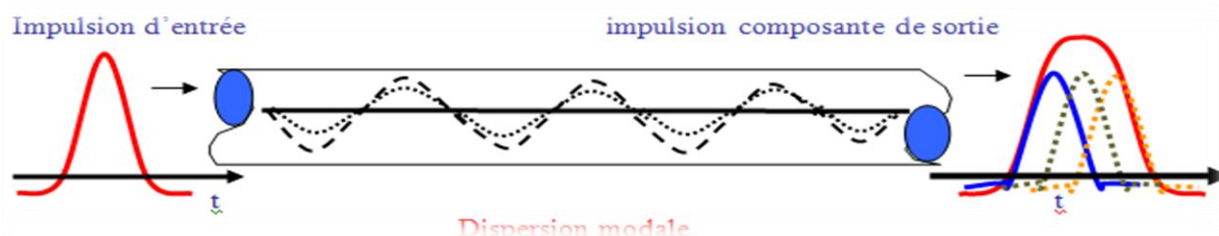


Figure I.22. La Dispersion modale

D. Avantages et inconvénients des fibres optiques

➤ Avantages

Ils sont nombreux, on peut les classer comme suit :

- ❖ **performances de transmission** : très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux ; elles permettent aux systèmes d'avoir une portée et une capacité très supérieures à celles des câbles conducteurs.
- ❖ **Avantage de mise en œuvre** : très petite taille, grande souplesse, faible poids, appréciables aussi bien en télécommunications que pour le câblage en informatique, aéronautiques, applications industrielles.
- ❖ **Sécurité électrique** : isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous forte tension.
- ❖ Sécurité électromagnétique : la fibre optique n'est pas sensible aux parasites et n'en crée pas elle-même.
- ❖ **Avantage économique** : contrairement à l'idée encore répandue, le coût global d'un système sur fibre optique et de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

➤ **Inconvénients**

- ❖ la fibre optique ne permet pas le transport d'énergie.
- ❖ Les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- ❖ les techniciens des installations doivent protéger ces yeux avec des verres de protection infrarouge
- ❖ perte de raccordement entre différents composants optiques du système, parmi les pertes de raccordement on trouve :
 - pertes de couplage à la source : une partie seulement de la puissance émise par le laser sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.
 - pertes d'épissure : elle est due à cause d'une discontinuité des rayons, une erreur d'espace, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire [8].

I.6. Les amplificateurs optiques

Les amplificateurs optiques sont considérés actuellement comme un élément important dans l'amélioration des performances des systèmes à transmission par fibre optiques. Parmi ces amplificateurs on distingue : les amplificateurs à fibre optique dopée (EDFA) et les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC).

I.6.1. Les amplificateurs optiques (EDFA)

L'amplificateur à fibre optique dopé à l'erbium est une technologie clef sur laquelle reposent les stations intermédiaires dans les systèmes de transport longue distance. Les EDFA permettent d'amplifier simultanément toutes les longueurs d'ondes, sans conversion des signaux optiques en signaux électriques. Les éléments de base d'un amplificateur optique dopé à l'erbium sont : La fibre monomode dont le cœur contient des ions de terre rare (l'erbium pour l'amplification autour de $1,55\mu\text{m}$), et laser de pompage de forte puissance, et un multiplexeur pour coupler la pompe (laser) et le signal à l'intérieur de la fibre, et l'isolateur optique (des filtres) peuvent également être utilisés pour égaliser le gain dans la plage d'amplification.

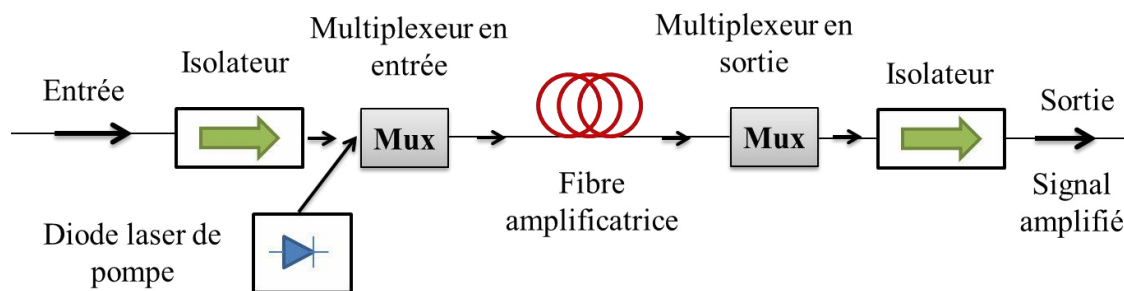


Figure I.23. Schéma d'un amplificateur EDFA

Après avoir provoqué la fibre dopée en erbium par un laser de pompage optique une inversion de population entre deux niveaux d'énergie appropriés, des photons incidents, correspondant au signal à amplifier, envoyés dans le milieu actif, vont déclencher l'émission de nombreux photons de même longueur d'onde de 1550 nm, phase, polarité, et sens. C'est l'émission stimulée.

L'amplification se distingue de l'effet laser par l'absence de résonance à la longueur d'onde d'émission. Les amplificateurs de fibre optique ont les caractéristiques suivantes : faible facteur de bruit, gain élevé et puissance de sortie se situant dans la région spectrale de longueur d'onde de 1550 nm. Les modules de l'amplificateur de fibre dopée à l'erbium (EDFA) comprennent un ou deux lasers de pompage de 980 nm dotés d'un refroidisseur thermoélectrique.

Les inconvénients des EDFA sont :

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

I.6.2. Les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC)

Les premiers travaux sur les AOSC ont démarré au début des années 80, à partir du moment où les lasers à semi-conducteur fonctionnaient en continu avec une fiabilité acceptable. Leur structure de base est peu différente de celle d'une diode laser. Nous retrouvons l'inversion de population, l'émission spontanée et stimulée, les recombinaisons non radiatives, une source externe ... Contrairement aux lasers à semi-conducteur, il n'y a pas de miroirs aux extrémités mais un revêtement antireflets déposé sur les faces clivées afin de diminuer les réflexions de la lumière vers l'intérieur du circuit Figure I.24 [8].

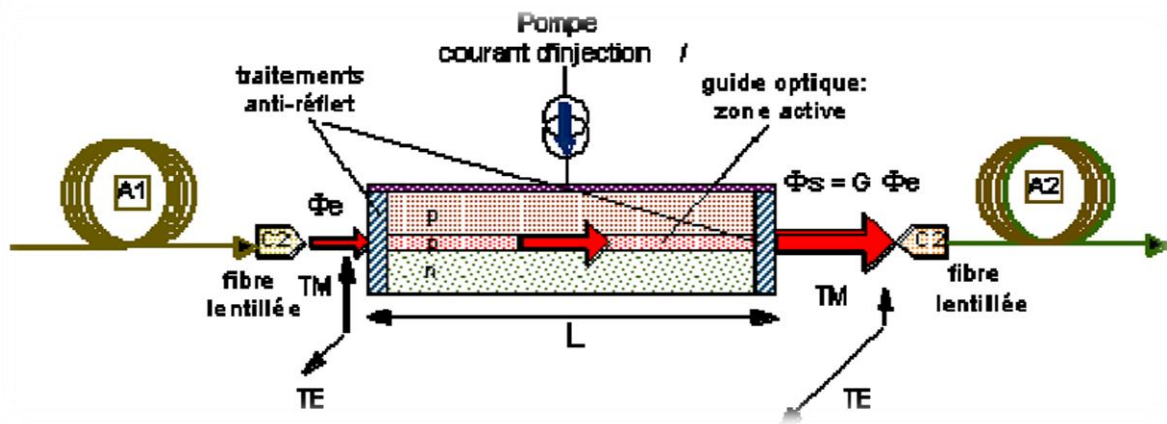


Figure I.24. Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur.

La lumière incidente entre dans le circuit, est amplifiée et sort par l'autre extrémité 1 pour être couplée dans la fibre. Idéalement, il n'y a pas de réflexion du signal dans l'amplificateur.

Les principales caractéristiques des AOOSC sont :

- Un gain élevé (jusqu'à 30 dB) selon le semi-conducteur, la longueur d'onde, le courant injecté et la puissance du signal incident.
- Une puissance de saturation en sortie autour de 5 - 10 mW.
- Une bande passante optique importante, de l'ordre de 5 THz (soit environ 40 nm autour de 1550 nm).
- Les non-linéarités sont particulièrement importantes dans les conditions de saturation du gain.
- C'est de loin le dispositif amplificateur le plus compact qui existe, avec un rendement (rapport gain à la consommation électrique) record. De plus, sa technique de fabrication est compatible avec l'intégration monolithique de nombreux autres composants actifs et passifs, ce qui offre des perspectives attrayantes en matière de traitement optique du signal, et aussi probablement en termes de coût.

I.7. Le récepteur

Le récepteur optique est le dernier étage de la chaîne de transmission, il a pour rôle de recevoir le signal optique provenant de la fibre et le convertir en un signal électrique pour extraire les données transmises [1].

Il est composé principalement d'un amplificateur, d'un filtre optique et d'une photodiode, une fois que le signal optique est récupéré et converti en un signal électrique, un bloc de décision lui est appliqué dans le but de restituer la séquence binaire.

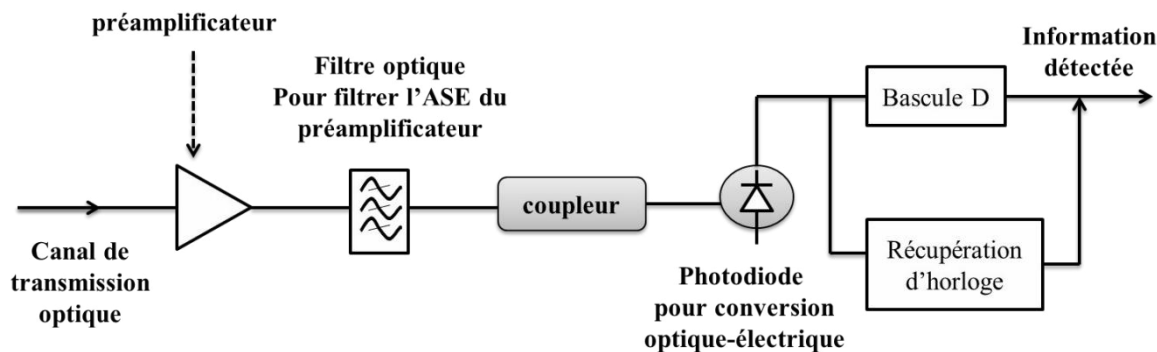


Figure I.25.Schéma de principe d'un récepteur optique

I.7.1. Photodiode

Les photodiodes sont des composants semi conducteur sensible aux particules a hautes énergies et aux photons, elles absorbent des photons ou particules chargées et génèrent dans un circuit externe, un flux de courant proportionnel à la puissance optique incidente.

A. Principe de fonctionnement

Les photons incidents d'énergie supérieure à l'énergie de gap sont absorbés et induisent le passage d'un électron dans la bande de conduction, laissant un trou dans la bande de valence. Dans la zone N ou la zone P, zones où l'énergie est constante, les électrons produits restent "quasi immobiles"(en réalité, ils diffusent créant un courant dit de diffusion). Par contre, comme un champ électrique élevé règne dans la zone intermédiaire, les électrons produits dans cette zone migrent vers la zone N. Il apparaît alors un photon courant mesurable. La zone P est généralement mince pour permettre au plus grand nombre de photons d'atteindre la zone active.

B. Les différents types de photodiodes

B.1. Les photodiodes (PIN)

Cette photodiode polarisée en inverse, est réalisée à partir de trois couches a base de semi conducteur. Deux couches fortement dopées P+ et N+ entre les quels existe une couche de grande résistivité (presque intrinsèque) où il existe très peu de charge mobiles

Les paramètres importants, qui caractérisent une photodiode PIN dépendent du matériau et de structure.

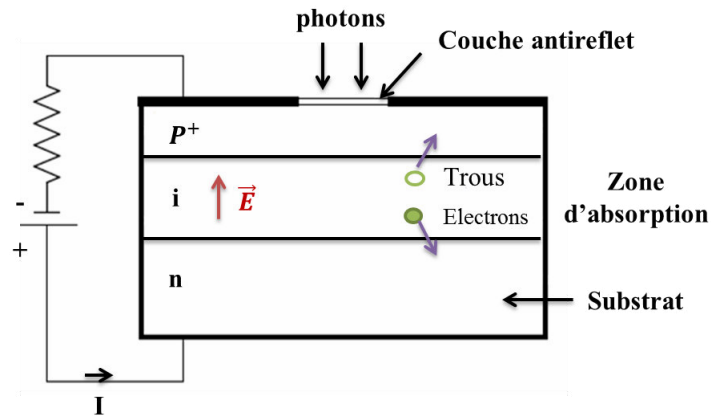


Figure I.26. Photodiode PIN

B.2. Photodiode à avalanche (APD)

Lorsque la puissance lumineuse reçue est très faible (quelque nm), les courants détectés sont peu élevés (quelques nA) et se superposent au courant d'obscurité, conduisant à un mauvais rapport signal sur bruit. Pour augmenter ce dernier, il est nécessaire que le courant détecté soit plus important en utilisant l'effet de multiplication par impact qui est le principe des photodiodes à gain interne de type avalanche.

I.7.2. La décision

Une fois que le signal électrique soit récupéré, il nous faut reconstituer la séquence binaire envoyée dans la ligne. Pour ce faire, nous appliquons le bloc de décision. Celui-ci est composé d'un circuit de récupération d'horloge, appelé aussi circuit de synchronisation, et d'un détecteur de seuil.

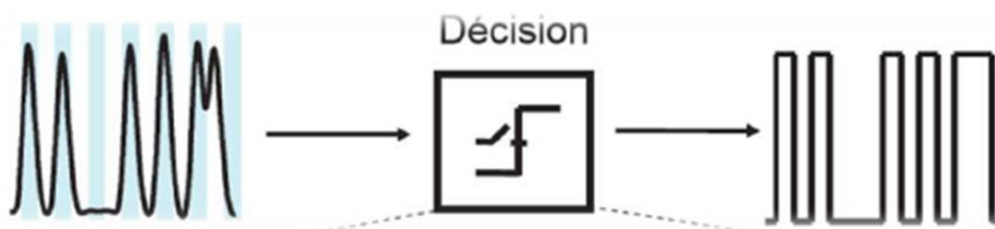


Figure I.27. Principe de la décision

I.8. Discussion

Nous venons de décrire les principaux blocs d'un système à transmission optique et les mécanismes utilisés pour amplifier le signal optique (amplificateurs à semi-conducteur et à fibre optique dopée), on peut conclure que l'utilisation de l'optique dans les transmissions de données a réglé les problèmes liés à la bande passante et elle a permis d'atteindre la satisfaction totale des abonnés, car la fibre optique ne cesse de se développer en termes de qualité ce qui assure des grands débits d'utilisation dans l'avenir.

Chapitre II

Réseaux de transmission de données

II.1. Préambule

Les réseaux de télécommunications deviennent de plus en plus nécessaires dans sa vie et a son développement grâce aux différents services proposés tel que : la téléphonie, la télévision et internet .ce qui a provoquer une évolution extraordinaire en terme de disponibilité et de débit offert ainsi que une diversité en terme des informations véhiculer : données multimédia (voix, données, vidéo....).

Dans ce chapitre nous allons décrire d'une manière générale les réseaux de télécommunications et ses différents dérivés ensuite on s'intéressera aux techniques utilisé dans la transmission numérique des données.

II.2. Réseaux de télécommunications

Les réseaux de télécommunications peuvent être définis comme étant un ensemble de moyens matériels et logiciels géographiquement dispersés destinés à offrir un service d'une manière fidèle, fiable et dans un délai aussi court que possible.

II.2.1. Les différents types des réseaux de télécommunications

De nos jours les réseaux de télécommunications ont connu une évolution très importante se qui a permis l'apparition de différents types dont [3] :

A. Réseaux téléphoniques

Le réseau téléphonique est un réseau de communication électronique utilisé pour la transmission de la parole entre les points de terminaison du réseau.



Figure II .1. Réseaux téléphoniques

B. Réseaux de diffusions

Dans les réseaux de diffusions l'information est transmise depuis le terminal de départ (source) sur un milieu de transmission accessible à tous les terminaux à la réception, ou chaque terminal qui reçoit le message émis examine l'adresse du message et détermine si celui-ci lui est destiné ou non. Les réseaux de diffusion (pouvant établir des communications bidirectionnelles) les plus connus sont :

- réseaux radios par paquets (exemple : ALOHA).
- réseaux satellite (exemple : VSAT).
- réseaux locaux (LAN) et métropolitains (MAN).
- réseau de TV-distribution.

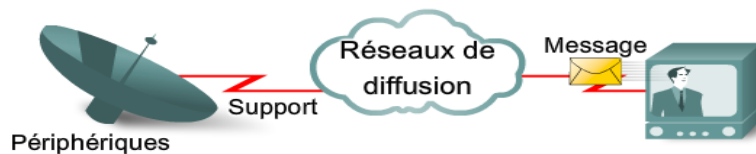


Figure II .2. Réseaux de diffusion

C. Réseaux informatiques

Le réseau informatique est ensemble d'équipement relié entre eux dans le but d'échanger des données multimédia.

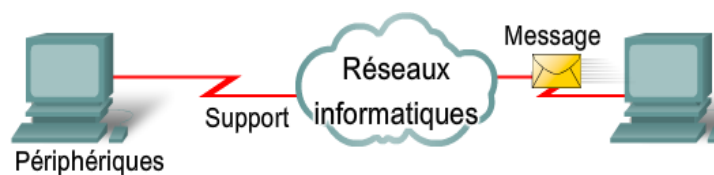


Figure II.3. Réseaux informatiques

II.2.2. Classification des réseaux de télécommunications

Les réseaux de télécommunication sont classés selon les distances de leurs zones de couverture, on distingue trois catégories [10] :

A. Réseau personnel PAN (Personal Area Network)

Un réseau personnel PAN désigne un type de réseau informatique restreint en termes d'équipements, généralement mis en œuvre dans un espace d'une dizaine de mètres.

B. Réseau local LAN (Local Area Network)

Ce type de réseau regroupe un ensemble d'équipements qui partagent des ressources local occupant une surface géographique limite, caractérisé par ses communications rapides (100Mbit /s ou 1Gbit/s).

C. Réseau métropolitains MAN (Métropolitan Area Network)

Ce sont des réseaux qui assurent l'interconnexion d'un ensemble des réseaux locaux et offrent des services de transmission de données sur des distances assez importante (80km) avec un débit élève (plus 100Mbit/s).

D. Réseau étendu WAN (Wide Area Network)

Ce réseau couvre une zone géographique plus importante pouvant prendre l'échelle d'un pays voir continent ou plusieurs continent.

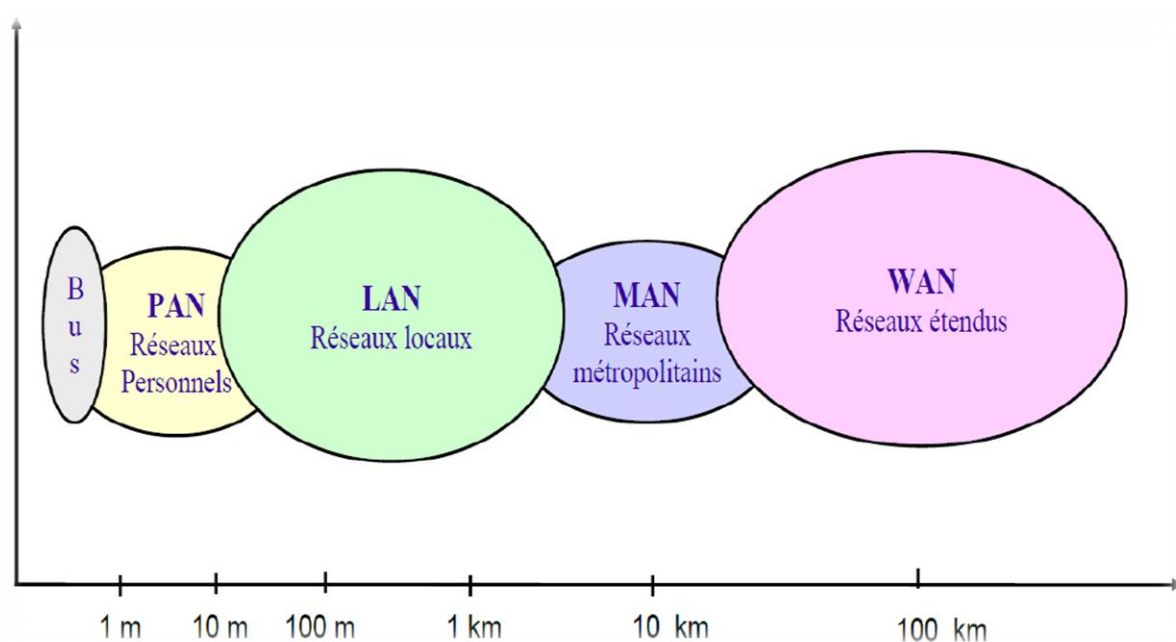


Figure II.4. Classification des réseaux de télécommunications

II.2.3. Topologie des réseaux

Les réseaux de télécommunications regroupent un ensemble d'équipements interconnectés entre eux selon une topologie bien définie à fin d'assurer la bonne transmission des données, on distingue trois topologies :

A. Topologie en bus

La topologie en bus consiste à faire relier toutes les machines à une seule et unique ligne de transmission par l'intermédiaire d'un câble généralement coaxial.

Le bus représente la ligne de transmission auxquelles toutes les machines sont reliées. Parmi les avantages de cette topologie est qu'elle est facile à mettre en place et que si une station tombe en panne le réseau restera fonctionnel par contre, en cas d'une rupture du bus le réseau devient endommagé.



Figure II.5. Topologie en bus

B. Topologie en étoile

La topologie en étoile consiste à connecter toutes les stations vers un équipement central (concentrateur) qui a pour rôle d'acheminer les données reçues vers la station prédéfinie.

Cette topologie est facile à mettre en place et à surveiller et en cas d'une panne d'une des stations le réseau restera opérationnel.



Figure II.6. Topologie en étoile

C. Topologie en anneau

Dans un réseau en topologie en anneau, les données circulent d'une station (ordinateur) à une autre suivant l'anneau, et ces données sont communiquées par les stations à tour de rôle. En réalité les ordinateurs d'un réseau en topologie anneau ne sont pas reliés en boucle, mais sont reliés à un répartiteur qui gère le réseau en offrant à chaque ordinateur un temps de parole.

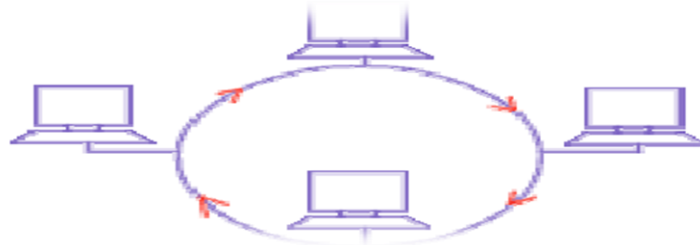


Figure II.7. Topologie en anneau

D. Topologie des réseaux hybride

Ce type de topologie regroupe plusieurs topologie différents. Par exemple, Internet est une parfaite illustration d'un réseau hybride car il joint des réseaux en anneau avec des réseaux en bus, avec des réseaux en étoile, ...

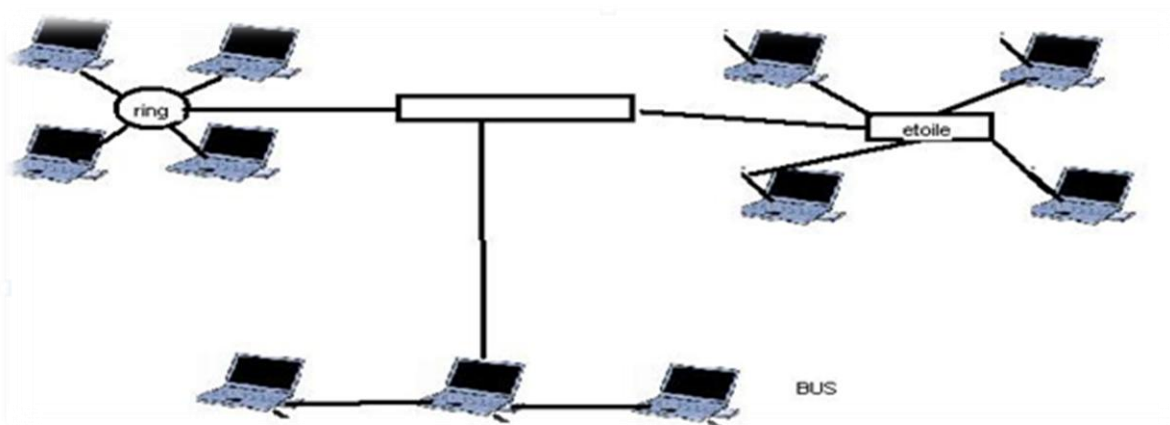


Figure II.8. Topologie des réseaux hybride

II.3. La transmission de données

Pour une transmission donnée sur une voie de communication entre deux machines la communication peut s'effectuer de différentes manières. La transmission est caractérisée par [9] :

- le sens des échanges
- le mode de transmission: il s'agit du nombre de bits envoyés simultanément
- la synchronisation: il s'agit de la synchronisation entre émetteur et récepteur

II.3.1. Le sens des échanges

Pour qu'est une transmission de données entre l'émetteur et le récepteur il faut définir le sens des échanges, on distingue trois situations :

A. Transmission simplex

Dans le cas d'une transmission simple les données circulent dans un sens c'est-à-dire de l'émetteur vers le récepteur. Ce genre de transmission est utilisé lorsque les données n'ont pas besoin de circuler dans les deux sens par exemple : de l'ordinateur vers l'imprimante ou de la souris vers l'ordinateur.

B. Transmission half-duplex

Cette transmission est caractérisée par une circulation de données dans un sens ou de l'autre, mais pas les deux simultanément, ce genre de transmission permet d'avoir une transmission bidirectionnelle utilisant la capacité totale de la ligne.

C. Transmission full-duplex

La transmission full duplex fait circuler les données de façon bidirectionnelle et simultanément, ainsi chaque extrémité de la ligne peut émettre et recevoir en même temps, ce qui implique une division par deux de la bande passante pour chaque sens d'émission des données sur le même support de transmission.

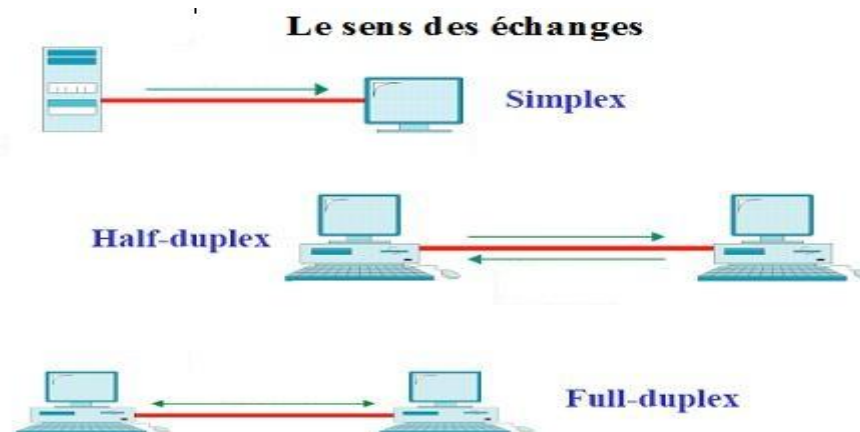


Figure II.9. Sens des échanges

II.3.2. Modes de transmission

Pour transporter des données d'un point à un autre, il faut déterminer le comportement de ces données entre les deux extrémités, d'où on distingue deux modes de transmission de données :

A. Transmission parallèle

La transmission parallèle est caractérisée par un transfert simultané de N bits d'un même mot sur N voies différentes. Sauf que ce mode de transmission présente de nombreuses difficultés dont le rayonnement des conducteurs l'un sur l'autre (diaphonie) et le coût élevé des conducteurs.

B. Transmission série

Dans le mode de transmission série les données sont envoyées successivement (bit par bit) sur la voie de transmission, et puis les processeurs traitent les données d'une manière parallèle ; la transmission série nécessite une interface de conversion pour sérialiser les données en émission (parallèle/série) et les désérialiser en réception (série/parallèle).

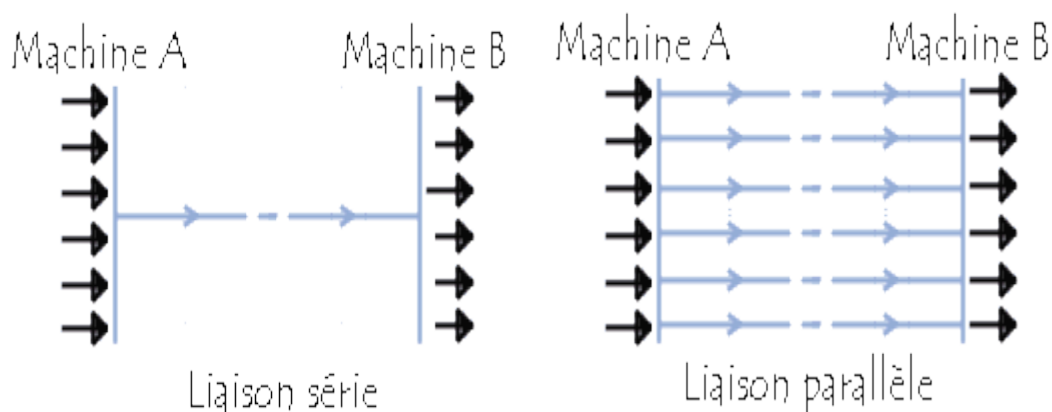


Figure II.10. Modes de transmission

II.3.2. La synchronisation des transmissions

Vu que la transmission du type parallèle pose des problèmes, c'est le mode série qui est le plus utilisé. Toutefois, puisque seul un fil transporte l'information, on aura à faire à un problème de synchronisation entre l'émetteur et le récepteur, c'est-à-dire que le récepteur ne peut pas distinguer les caractères (séquence du bit) car les bits sont envoyés successivement. Il existe donc deux types de transmission permettant de remédier à ce problème :

A. Transmission asynchrone

Dans ce type de transmission, les échanges s effectuent octet par octet (8bit). Et pour synchroniser l'horloge réceptrice avant toute opération de transmission il faut rajouter des bits supplémentaires qui vont indiquer le début (bits STAR) et la fin (bits STOP) du chaque caractère envoyer, et laisser une période quelconque (temps de silence) entre 2 caractères a fin de garantir la re-synchronisation entre chaque caractère.

Exemple : La transmission PDH

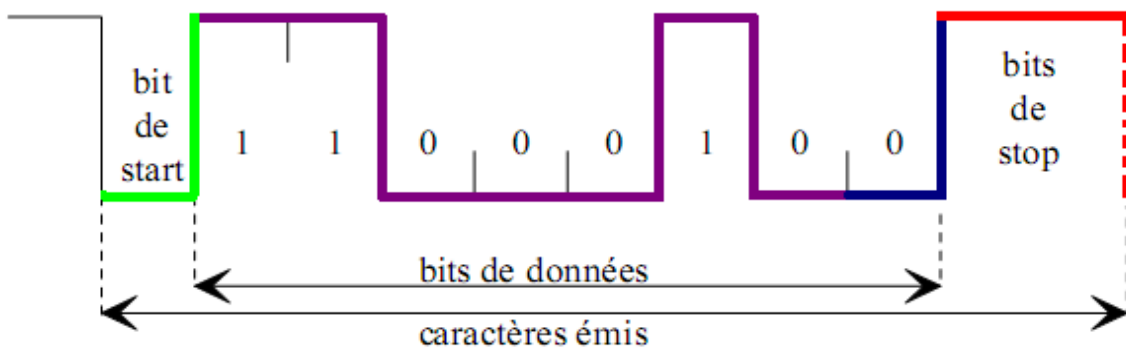


Figure II.11. Transmission asynchrone

B. Transmission synchrone

Dans la transmission synchrone l'émetteur et le récepteur sont synchronisés par la même horloge. les données sont transmis sous forme de blocs ou trames (pas de présence d intervalle entre les données transmises).

Exemple: la transmission SDH

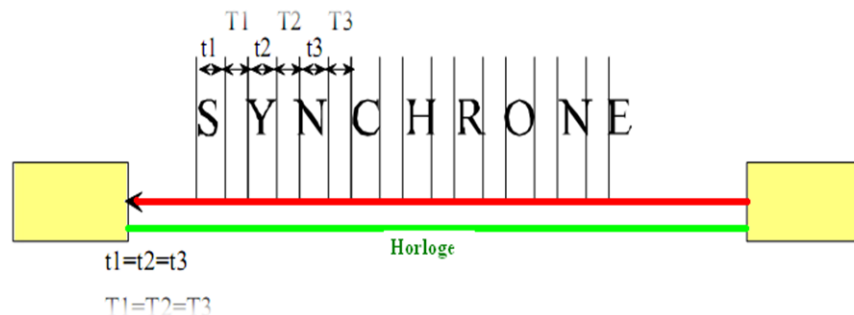


Figure II.12. Transmission synchrone

II.4. La transmission numérique

On qualifie une transmission numérique toute transmission des signaux sous forme binaire (0 et 1), et les signaux peuvent être :

- Electriques
- Optiques

Ainsi, des données analogiques devront préalablement être numérisées avant d'être transmises.



Figure II.13.Principe de la transmission numérique

II.4.1. Les avantages d une transmission numérique

- **La fiabilité de la transmission** : l'information transmise étant une séquence binaire, les valeurs représentées appartiennent à un ensemble discret et limité.
- **La compression** : les algorithmes de compression informatiques sont utilisés dès la phase de numérisation terminée.
- **La protection contre les erreurs** : lorsque l'application le permet, des techniques de protection contre les erreurs sont mises en œuvre offrant ainsi encore plus de fiabilité.

II.4.2. Transmission numérique MIC (Modulation Impulsion Codage)

La modulation par impulsion et codage MIC est une représentation numérique d un signal analogique, cette transmission s'effectue en trois étapes essentiel : échantillonnage, quantification et codage [7].

Cette transmission consiste à échantillonner l'information analogique (conversation téléphonique, signal vidéo, données ...ect) ensuite convertir l amplitude de chaque échantillon en code binaire pour qu'il puisse être transmis sur le support de transmission.

La transmission numérique MIC est soumise a des contraintes temporelle dues au débit imposé et a la bande passante choisie :

- La bande passante du téléphone est 300 a 3400 Hz, donc en appliquant le théorème de Shannon ($F_e \geq 2F_{max}$) on a faire a une fréquence d'échantillonnage F_e de 8000 Hz ce qui résulte un prélèvement d échantillon tous les 125 μ s ; quand a la quantification chaque échantillon est code sur 8 bit.
- La transmission se fait sur une liaison multiplexe a 32 voies et chaque voie transmet 8 bit tous les 125 μ s ce qui donne un débit voie du 64kbit/s et un débit trame de 2,048 Mbits/s ($32 \cdot 64 \text{ Kbit/s}$).

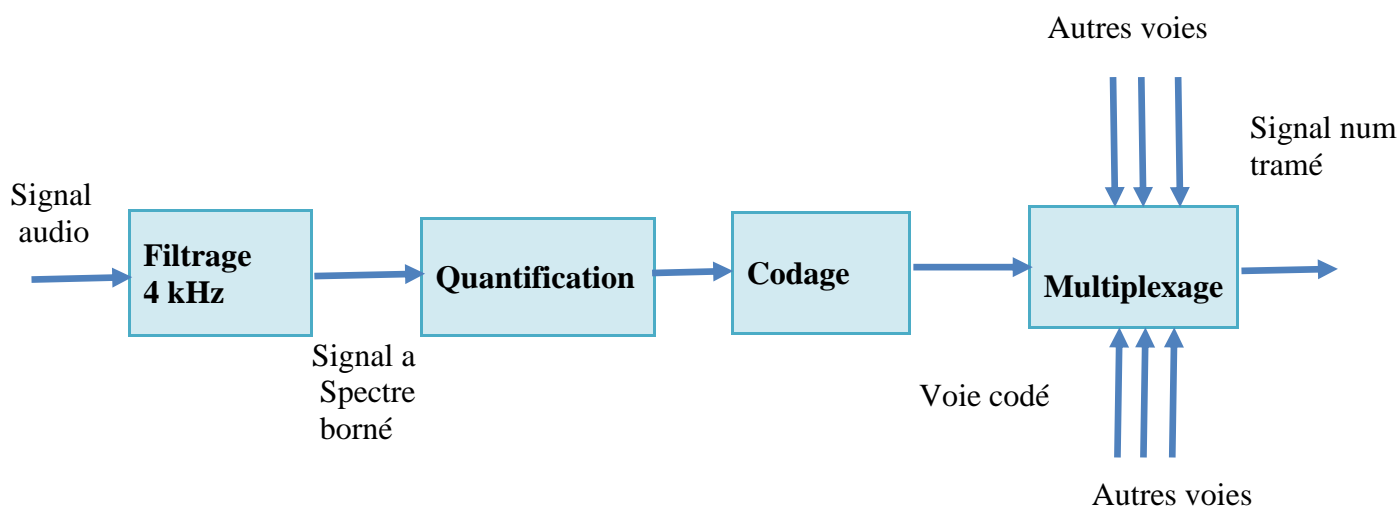


Figure II.14.Principe de la transmission

II.4.3.1. L'échantillonnage

Le signal analogique peut être converti en signal numérique par échantillonnage a des intervalles réguliers ($T_e=1/F_e$) déterminés par le théorème de Shannon ($F_e \geq F_{max}$). Dans le cas d'une trame MIC la fréquence d'échantillonnage est de 8000Hz.

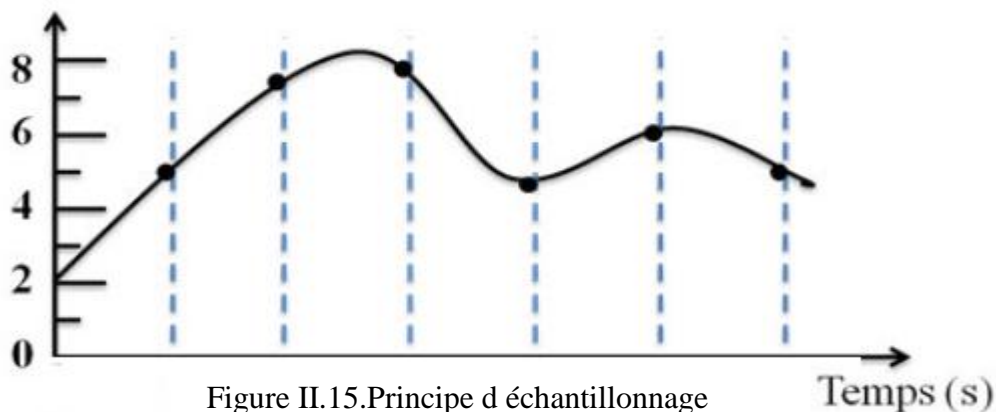


Figure II.15.Principe d'échantillonnage

II.4.3.2. La quantification

Lors de la numérisation, il faut discrétiser les valeurs de l'amplitude du signal en choisissant un pas de quantification donné par la relation $q=2V_{\max} / N$ (N représente le nombre de bit réservé pour le codage).

Dans le système MIC le codage se fera sur 8bit ce qui correspond au débit de ligne 64kbit/s donc on va constituer 256 plages de valeurs (2^8) étagées entre $+V_{\max}$ et $-V_{\max}$.

Lors de la quantification on rencontre deux défauts majeurs :

- Bruit de quantification : qui est due à la différence entre la valeur retenue pour le codage et la valeur effectivement échantillonné et par conséquent le signal devient inaudible.
- Le rapport signal sur bruit (S/B) qui est faible pour les signaux ayant une petite valeur (signal inaudible) et élevé pour les signaux ayant une grande valeur (signal bon).

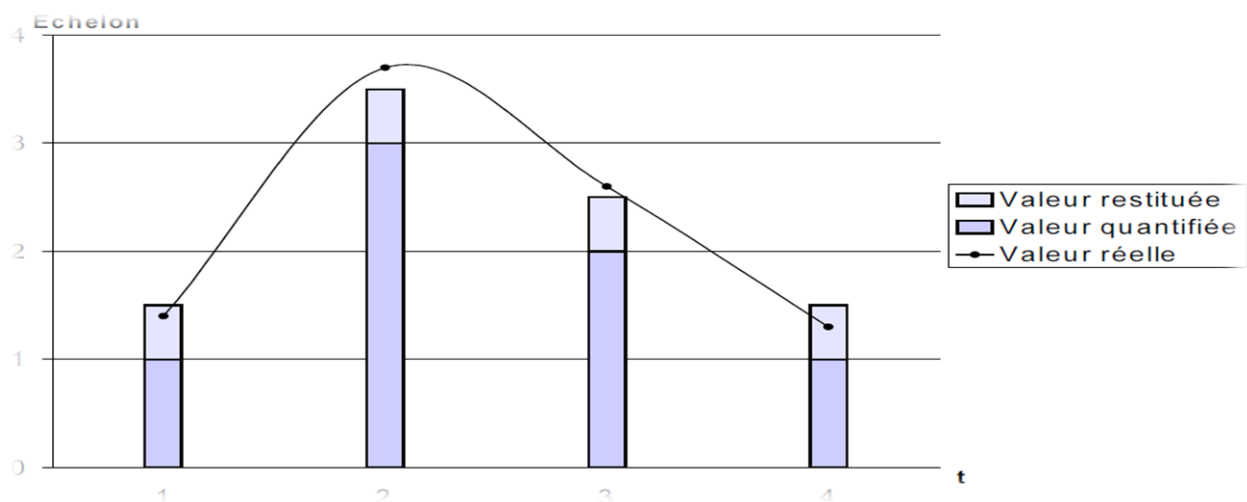


Figure II.16.Principe de quantification

Pour remédier ces défauts on réalise une compression de signal (loi américaine μ ou loi européenne A) qui consiste à utiliser une courbe à allure logarithmique qui offre un pas de quantification réduit aux faibles tensions et plus important aux forts niveaux .ce qui résulte une meilleure intelligibilité de l'information contenue dans le signal et une bonne homogénéité de la parole.

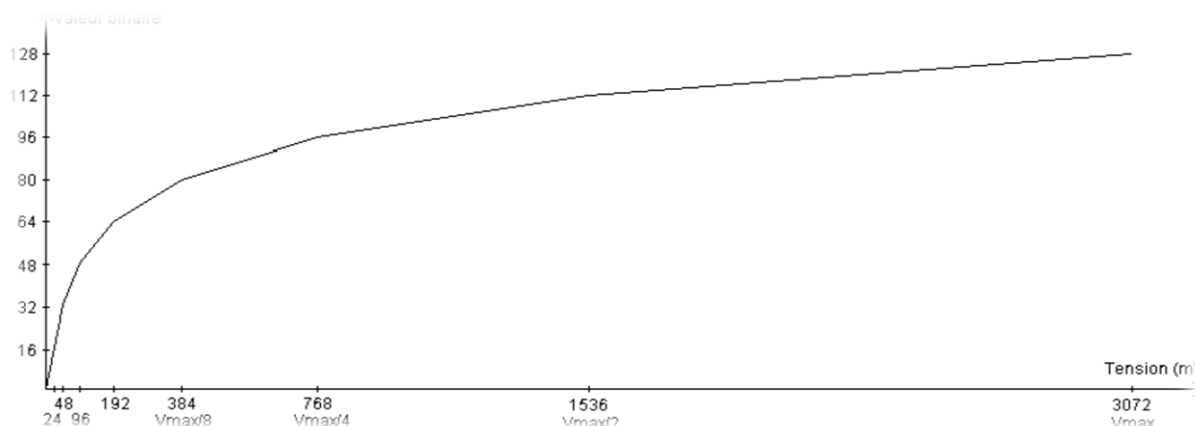


Figure II.17.Allure logarithmique

II.4.3.3. Le codage

Le codage consiste à coder les échantillons prélevés lors de la phase de quantification, et pour chaque échantillon est codé sur 8 bits (mot binaire) dont le premier bit est affecté au signe de l'échantillon et les sept bits servent à coder l'amplitude de l'échantillon.

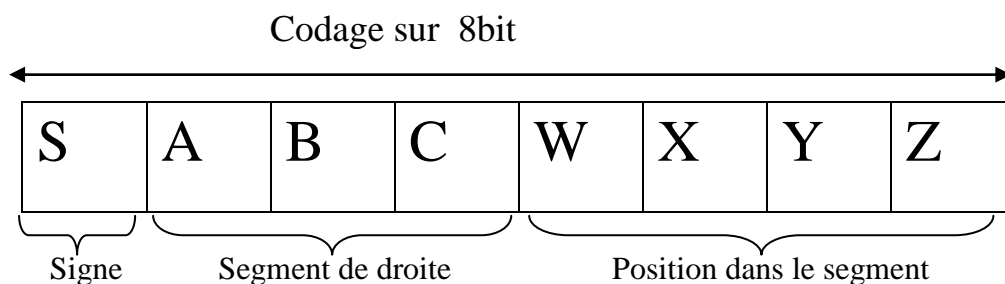


Figure II.18.Codage des échantillons

Il existe plusieurs techniques de codage de l'information, les plus utilisées dans le domaine de transmission sont : le codage NRZ, Manchester et le HDB_n.

A. Codage NRZ

Le code NRZ est le moyen le plus simple de coder l'information : il consiste à affecter une tension +V à une valeur « 1 » et une tension -V à une valeur « 0 ».

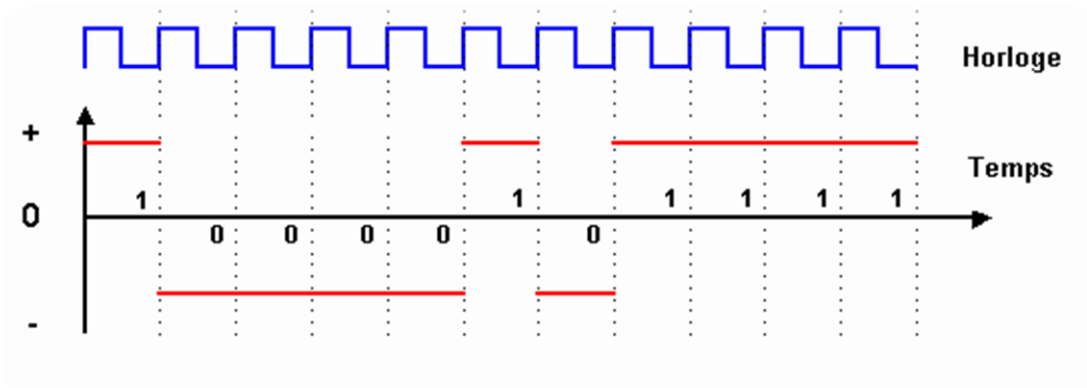


Figure II.19.Codage NRZ

B. Codage Manchester

Dans le codage Manchester un « 0 » est représenté par une transition montante (-V a +V) au milieu d'une période d'horloge, « 1 » par une transition descendante (+V a -V).

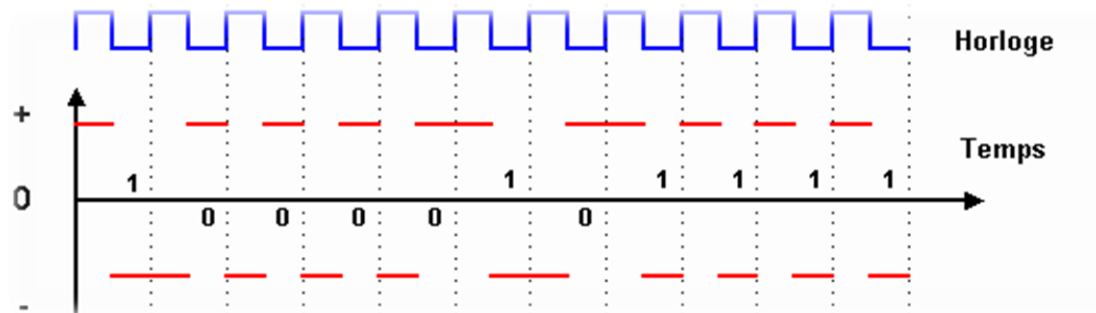


Figure II.20.Codage Manchester

C. Codage HDB_n

Le cas le plus utilisé c'est le HDB pour n=3 :

➤ HDB₃ :

Règle 1 : lorsque quatre zéros se suivent(0000), le quatrième est remplacé par un bit « V » appelé bit de viole de parité (000V).le bit « V » prend la même polarité que l'élément du signal qui le précède et provoque donc une variation de parité du code AMI.

Règle 2 : lorsqu'un nombre pair d'éléments « 1 » est présent entre le bit « V » précédent et le celui de nouveau détecté ; le premier bit de la suite « 0000 » doit être remplacé par « B » (B000) appelé bit de bourrage. La polarité « B » suit la règle AMI.

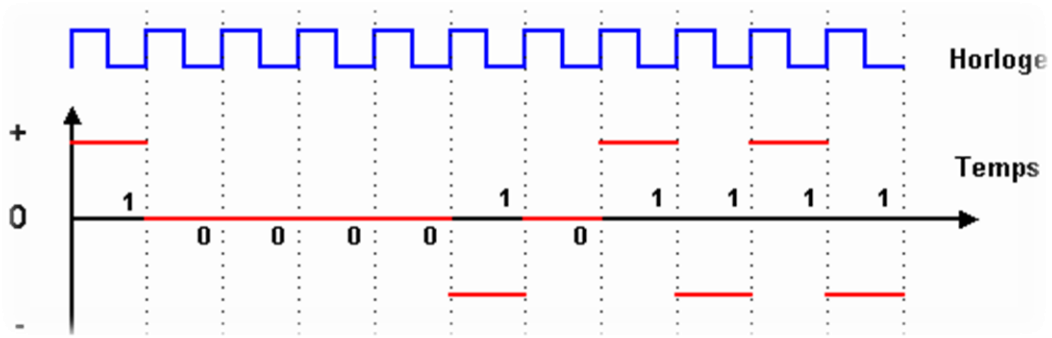


Figure II.21.Codage HDB₃

II.4.3.4. Structure d'une trame MIC de premier ordre

La trame MIC de premier ordre a 2,048 Mbit/s représente le premier niveau hiérarchique dans le système MTR, elle correspond a 30 voies téléphoniques plus deux voies de signalisation, la durée d'une trame MIC est de 125 μ s correspond a 32 intervalles de temps .La durée du chaque intervalle de temps (IT de chaque voie) correspond a 3,9 μ s et a un mot de 8 bit. Chaque trame a un mot du 256 BITS (8bit*32IT) ce qui explique le débit trame de 2,048 bit/s (256bit*8KHz) pour le système européenne.

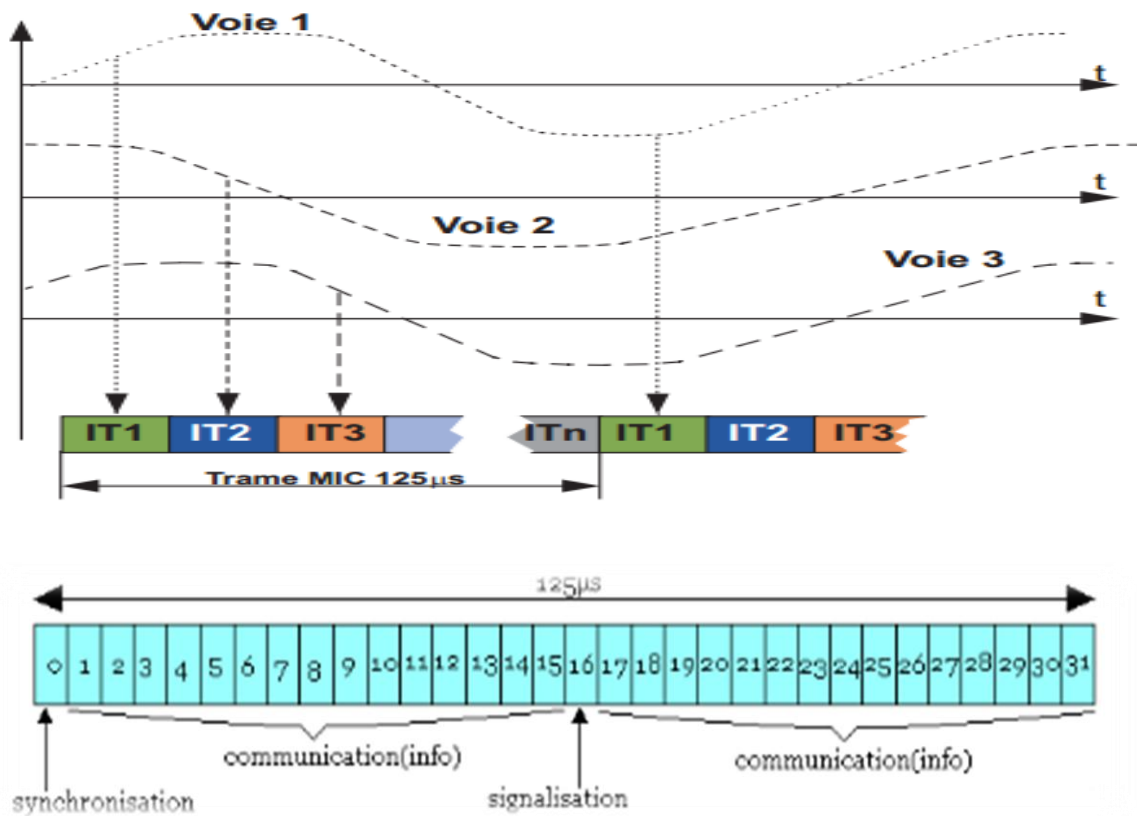


Figure II.22. Structure d'une trame MIC

C. Résultat

La figure ci-dessous nous illustre la structure générale des différentes trames qui constitue une multitrame, d'où elle nous indique sur les diverses formes que prennent les bits de verrouillage et de signalisation dans une multitrame.

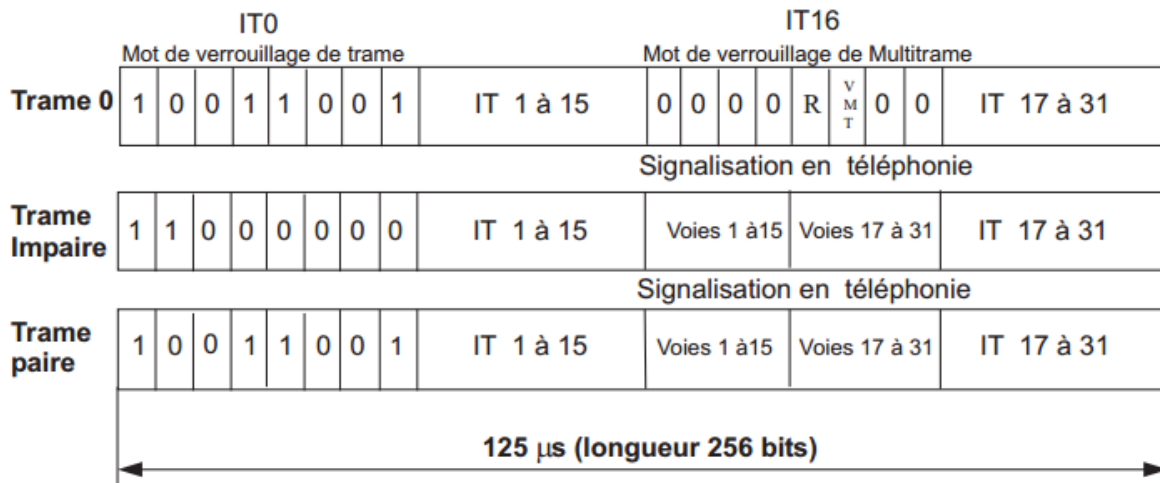


Figure II.26. La trame MIC et les informations de signalisation

II.5. Multiplexage de données

Le multiplexage joue un rôle prépondérant dans la construction des réseaux de transmission. Il consiste à associer ou regrouper des débits incidents ou primaires pour former un débit supérieur ou résultant qui est plus facile à transmettre et à gérer dans le réseau de transmission [7]. Il est en effet évidemment impossible de transporter sans multiplexage l'ensemble des signaux à 64 kbit/s du réseau téléphonique. Afin de gérer la complexité, les réseaux sont généralement réalisés sous la forme de plans, spécialisés dans une gamme de débits, chaque plan étant géré de façon autonome. Chaque plan accepte les signaux du plan inférieur via un multiplexeur et les signaux directement dans la gamme de ses débits.

On distingue trois types de multiplexage de bases qui sont largement utilisés en transmission : Multiplexage temporelle dit TDM (Time Division Multiplexing), Multiplexage fréquentiel dit FDM (frequency division Multiplexing) et le Multiplexage CDMA (Code Division Multiple Access).

II.5.1. Multiplexage temporelle TDM (Time Division Multiplexing)

Le multiplexage temporelle ou TDM (Time Division Multiplexing) consiste à affecter à un utilisateur unique la totalité de la bande passante pendant un court instant, d'une façon périodique pour chaque utilisateur ce qui permet de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débits sur un seul canal à débit plus élevé. On retrouve ce type d'utilisation sur les canaux T1 aux Etats-Unis qui regroupent par multiplexage temporel 24 voies à 64 kbit/s en une voie à 1,544 Mbit/s ou sur les canaux E1 en Europe qui regroupent 30 voies analogiques en une voie à 2,048 Mbit/s [2].

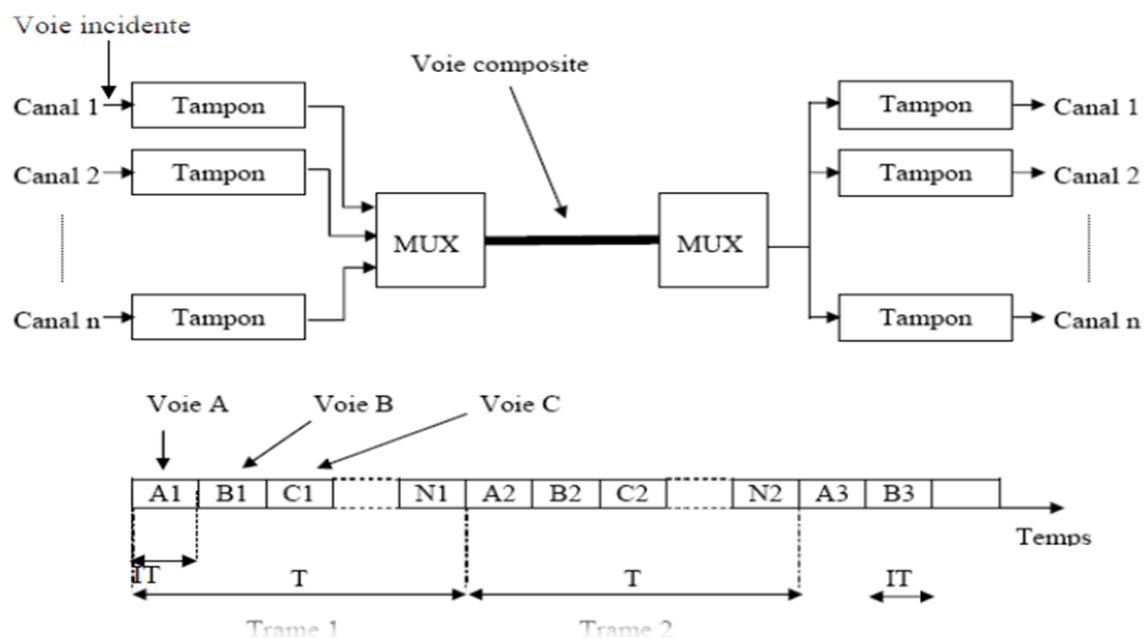


Figure II.27.Principe de multiplexage temporelle

II.5.2. Multiplexage fréquentiel FDM (Frequency division Multiplexing)

Le multiplexage fréquentiel permet de partager la bande passante en sous bandes (ensemble de canaux) à l'aide d'un filtre passe bande, ensuite affecter chaque sous bande à un utilisateur. Et pour éviter les interférences on sépare les canaux par une bande de garde (espace de fréquence).

Ce type de multiplexage est généralement utilisé par la transmission des signaux analogiques par câble, par voie hertzienne ou par satellite dans les applications de type téléphonie, radio et télévision.

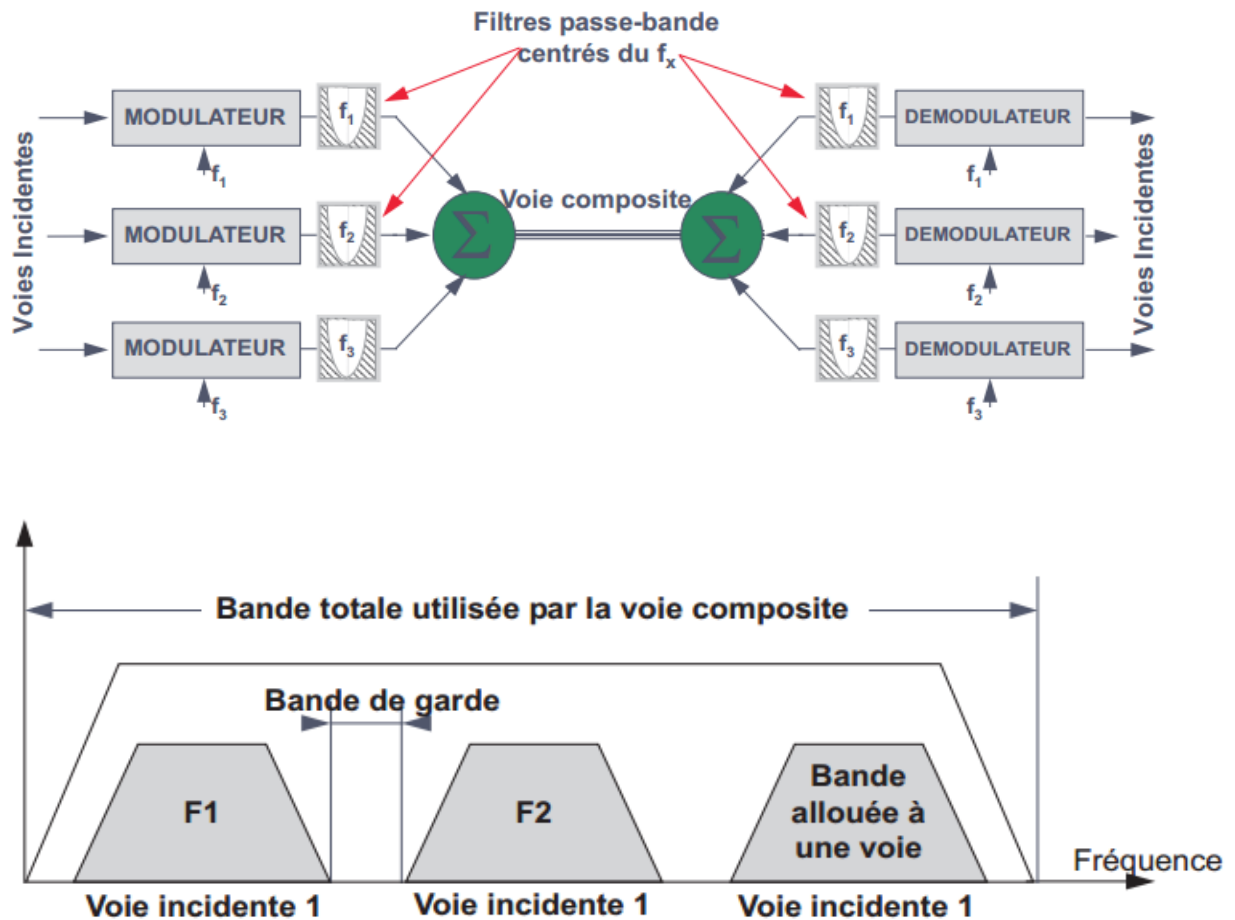


Figure II.28.Principe de multiplexage fréquentiel

II.5.3. Multiplexage CDMA (Code Division Multiple Access)

Cette technique permet la transmission des données des utilisateurs sur la même bande de fréquence et en même temps. Tous les utilisateurs ou messages ont accès simultanément à la totalité de la bande. Ils sont distingués à la réception grâce à des codes distincts associés à chacun d'entre eux (Figure II.29).

Cette technique permet de multiplexer des informations sur un seul support de communication de manière synchrone ou asynchrone.

Le débit après codage est celui des données utilisateur divisé par la longueur de la séquence de code. Le multiplexage par répartition de code CDMA permet d'étaler de manière spectrale le signal transmis sur une bande N fois plus large que celle du signal initial, N étant la longueur de la séquence de code. Cependant, tous les utilisateurs exploitent la même bande spectrale, mais leurs données transmises se distinguent par le code propre à chaque utilisateur.

Ceci permet d'éviter les interférences d'accès multiples, à condition que les codes utilisés soient orthogonaux.

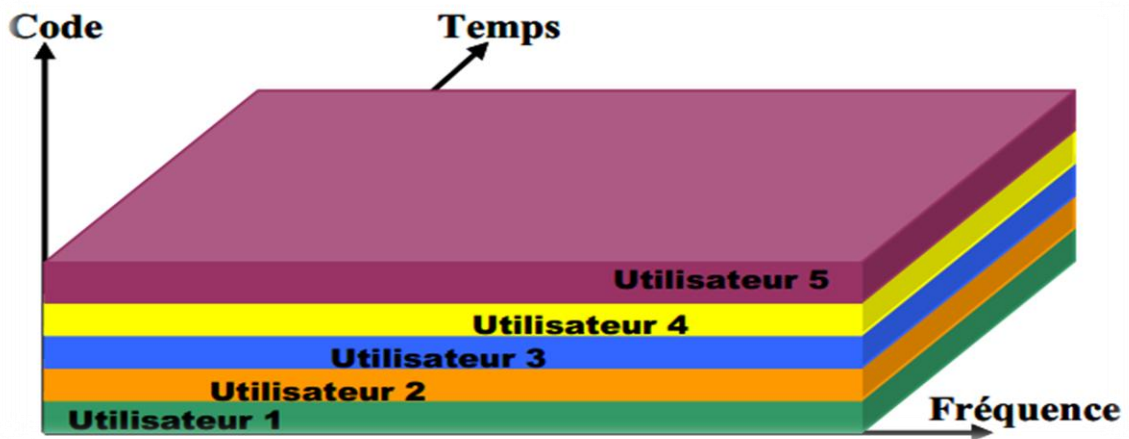


Figure II.29. Illustration de la technique CDMA

II.6. La hiérarchie numérique

La hiérarchie numérique consiste à regrouper plusieurs multiplex pour constituer un nouveau multiplex d'ordre supérieur. Le débit du multiplex de sortie est supérieur à la somme des débits incidents. En effet, le multiplexeur insère dans la trame des informations de services et des bits de justification pour compenser les écarts d'horloge des multiplex incidents (surdébit). On distingue plusieurs technologies qui utilisent cette hiérarchie à savoir la technologie PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et D-WDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) que nous aborderons en détails dans le chapitre suivant [10].

II.7. Discussion

Nous avons vu principalement dans ce chapitre les différents types de réseaux de transmission et nous avons décrit le principe de la numérisation d'un signal analogique avec la modulation par impulsion codée (MIC),

suivie des principaux types de multiplexage de données.

Dans le chapitre suivant nous aborderons les différentes technologies utilisées dans la transmission de données.

Chapitre III

Technologie de transmission numérique haut débit

III.1. Préambule

Aujourd'hui, la transmission de données est devenue un facteur clé du développement des entreprises. Internet, intranet, messageries, visioconférence, PABX sont des applications générées par les réseaux de commutation : IP, RTC, Frame Relay, GSM et utilisé par ces entreprises par l'intermédiaire des réseaux de transmissions. Il existe trois technologies de transmission numérique de données : PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), SDH (Synchronous Digital Hierarchy) et WDM (Wavelength Division Multiplexing).

Dans ce chapitre nous allons décrire les différentes technologies de transmission et donner la structure de chaque technologie et enfin on va citer les avantages et les limites de ces technologies.

III.1. La Hiérarchie Numérique Plésiochrone (PDH)

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) est née au début des années 70 avec la numérisation du téléphone. Elle définissait, entre les points du réseau de l'opérateur, des jonctions Mic à 2Mbit/s accueillant trente-deux circuits à 64 kbit/s par multiplexage temporel. C'est à partir de ce multiplexage successif des circuits sur plusieurs niveaux que la hiérarchie des débits a été créée en Europe : 2 (E1), 8 (E2), 34 (E3), 140 (E4) et 565 Mbit/s (E5) [7].

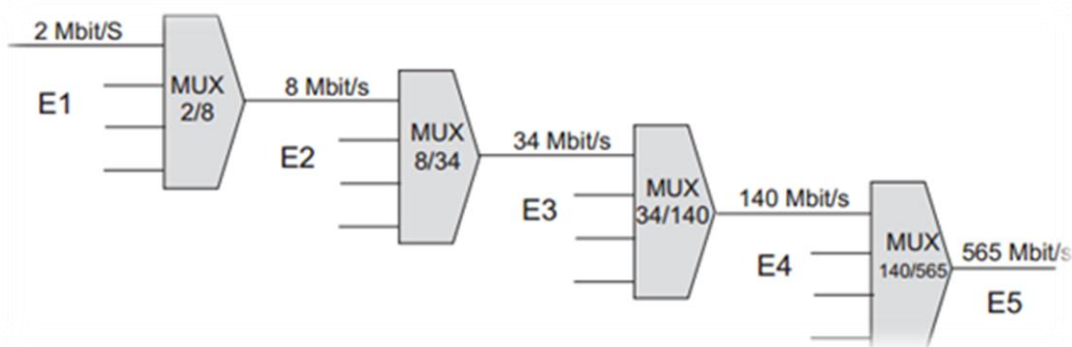


Figure III.1. La hiérarchie numérique PDH

Le système de transmission numérique PDH repose aussi sur la hiérarchie d'Amérique du Nord et du Japon qui utilise le multiplexage de 24 canaux pour donner un débit de premier niveau (T1) équivalent à 1.544mb/s.

Niveau	Pays	Débit en kbit/s	Nombre de voies
Niveau 1	Europe (E1)	2 048	30
	Japon	1 544	24
	États-Unis (T1)	1 544	24
Niveau 2	Europe (E2)	8 448	120
	Japon	6 312	96
	États-Unis (T2)	6 312	96
Niveau 3	Europe (E3)	34 368	480
	Japon	33 064	480
	États-Unis (T3)	44 736	672
Niveau 4	Europe (E4)	139 264	1 920

Tableau III.1. Les différentes hiérarchies numériques PDH

III.2. La limite de système numérique PDH

L'inconvénient de la PDH est qu'il faut démultiplexer complètement l'ensemble des différents ordres de multiplexage pour extraire un signal. De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur est une condition clef à une transmission sans erreur. Ceci est parfois délicat à obtenir dans des systèmes où les horloges donnant le rythme sont réparties sur les émetteurs et les récepteurs. Il y a alors autant d'horloges différentes qu'il y a de machines différentes dans le réseau.

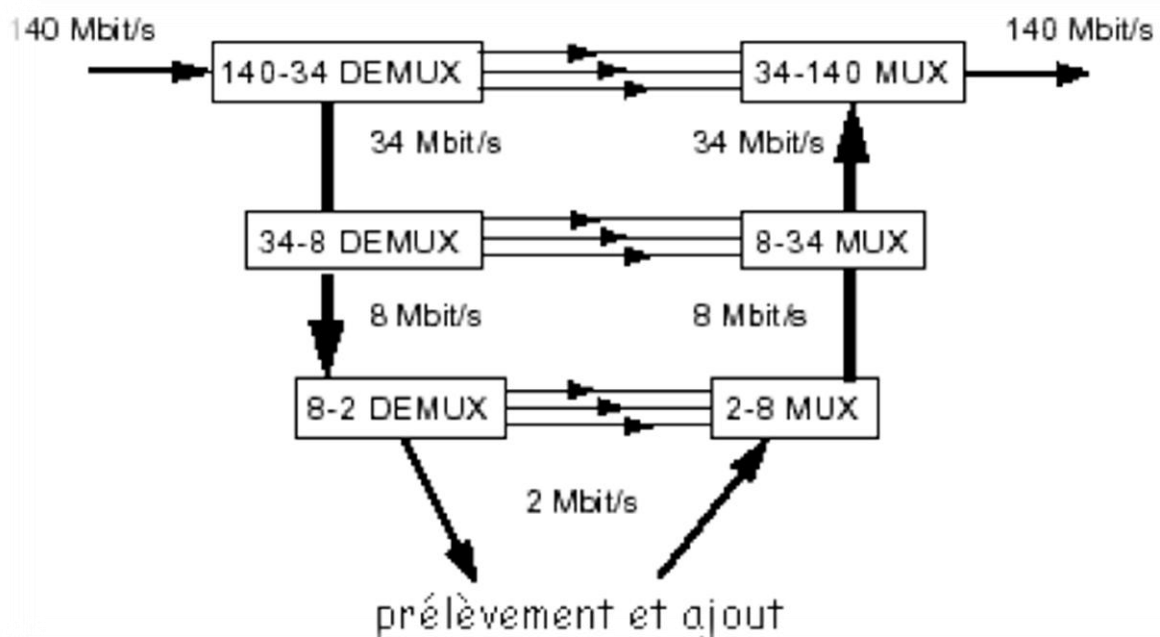


Figure III.2. Démultiplexage de la PDH

Pour palier 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).

III.3. La Hiérarchie Numérique Synchrones SDH

La hiérarchie numérique synchrone est apparue au début des années 90, elle constitue une évolution importante dans le domaine des transmissions numériques de données car elle a pu remédier les inconvénients de la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) [7].

Le système SDH est une technologie utilisée dans le domaine de la télécommunication haut débit compatible avec les réseaux optiques et électriques, il a la possibilité de transporter des signaux numériques sur des capacités variables qui seront pilotés par la même horloge.

La SDH introduit de nouvelles possibilités dans les réseaux de transmission :

- ✓ Souplesse accrue par la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex de ligne.
- ✓ Facilités d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions.
- ✓ Possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones haut débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base. Cette entité de base définit implicitement toutes les trames haut débit, la limitation n'est plus que technologique.
- ✓ Interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes
- ✓ Architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipement. [1]

III.3.1. La hiérarchie de multiplexage SDH

La transmission de données via SDH consiste à accumuler les affluents (flux primaire) provenant de liaisons synchrones et asynchrones (notamment PDH) dans des conteneurs (dont le contenu est appelé charge utile ou payload), ensuite des octets d'informations seront ajoutés à la charge utile pour obtenir un conteneur virtuel VC (Virtual Conteneur) destiné à la transmission sur le réseau SDH en utilisant une trame SDH qui va contenir ce VC et un pointeur qui sert à localiser le début de VC dans la trame ; cette association (VC et pointeur) est appelée TU (Tributary Unit) .

Plusieurs TU provenant de différents affluents sont multiplexés octet par octet pour constituer un TUG (Tributary Unit Group), et un groupe de TUG seront multiplexés à leur tour dans des VC d'ordre supérieur pour avoir enfin un AU (Administrative Unit) qui va être inclus dans une trame afin qu'il soit transmis.

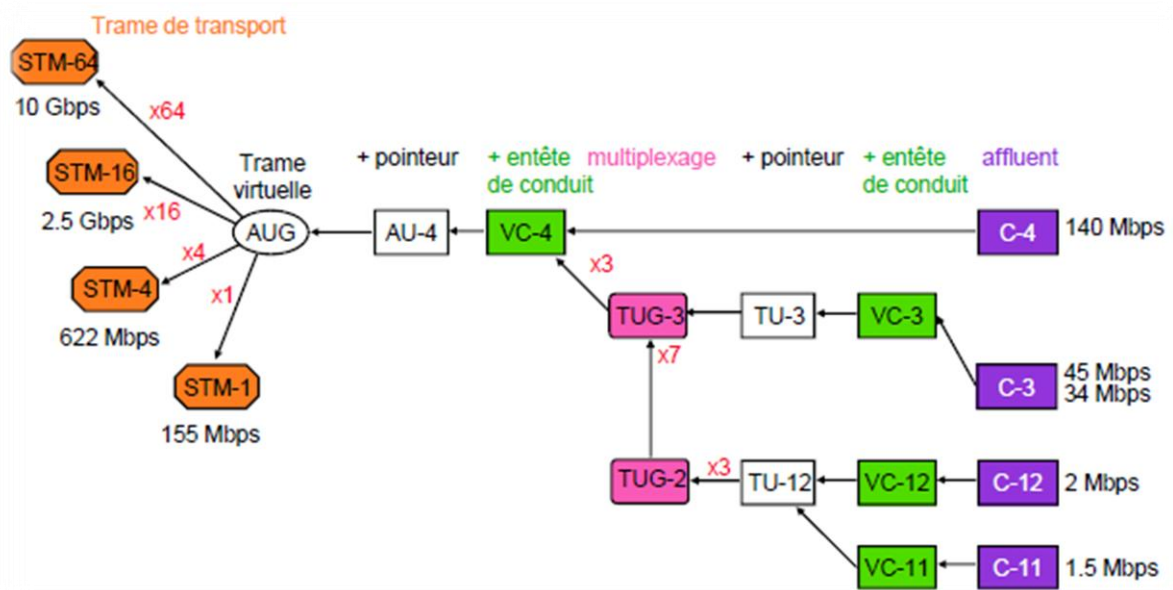


Figure III.3. Structure de la hiérarchie numérique synchrone (SDH)

A. Le Conteneur (Cn) : lorsque les différents signaux porteurs de données utiles arrivent aux réseaux SDH ils seront segmentés en blocs appelés Conteneur. Les conteneurs varient selon leur débit d'entrée on distingue :

Affluent (Mb/s)	Conteneur
1.5	C-11
2	C-12
6	C-2
34	C-3
45	C-3
140	C-4

Tableau III.2. Correspondances affluent-conteneur

B. Le conteneur virtuel (VCn) : pour transmettre les conteneurs à l'aide d'un réseau SDH, ils auront besoin d'un surdébit appelé POH qui a pour rôle la gestion et le cheminement de conteneur à travers le réseau, l'ensemble conteneur et surdébit POH constitue un conteneur virtuel (VC) : $VC = C + POH$

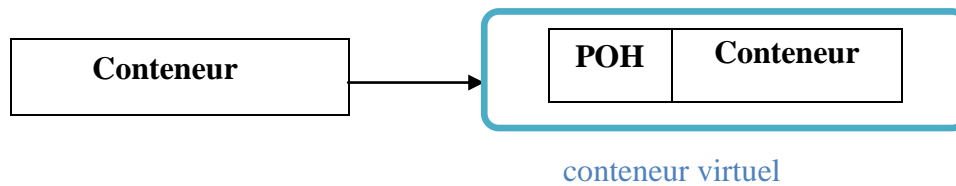


Figure III.4. Conception d'un conteneur virtuel

Les VCs sont les éléments de bases transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche en proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1 constituée de 2430 octets.

Dans le système SDH on distingue deux niveaux de multiplexage VC : ordre inférieur (Low Order LO-VC) et l'ordre supérieur (High Order HO-VC).

Affluent (Mb/s)	VC d'ordre inférieur	VC d'ordre supérieur
1.5	VC-11	
2	VC-12	
6	VC-2	
34	VC-3	
45		VC-3
140		VC-4

Tableau III.3. Correspondance niveaux de multiplexage-debit

C. L'unité tributaire (TUn): les conteneurs virtuels occupent une certaine capacité et une position dans la trame, et pour pouvoir repérer l'emplacement de chaque VC par rapport au début de la trame, un pointeur PTR est associé au VC pour constituer une unité tributaire TU (Tributary Unit).

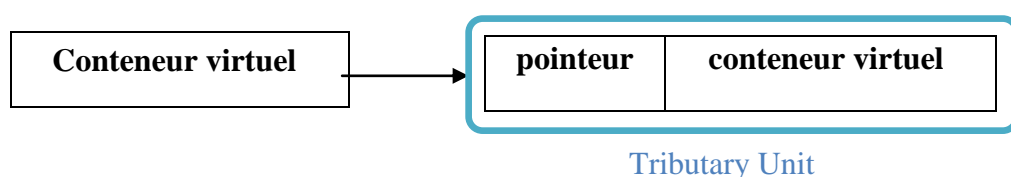


Figure III.5. Conception d'une unité tributaire

D. Groupe d'unités tributaire(TUG): les différentes unités tributaires (TU) issue de plusieurs affluents seront multiplexé octet par octet afin de constituer un groupe d'unités tributaire (TUG).

Dans la trame SDH on distingue deux TUG issue des flux primaire :

- Le TUG 2 regroupant 3 TU12 ou 1 TU2.
- Le TUG 3 regroupant 7 TUG 2 ou 1 TU3.

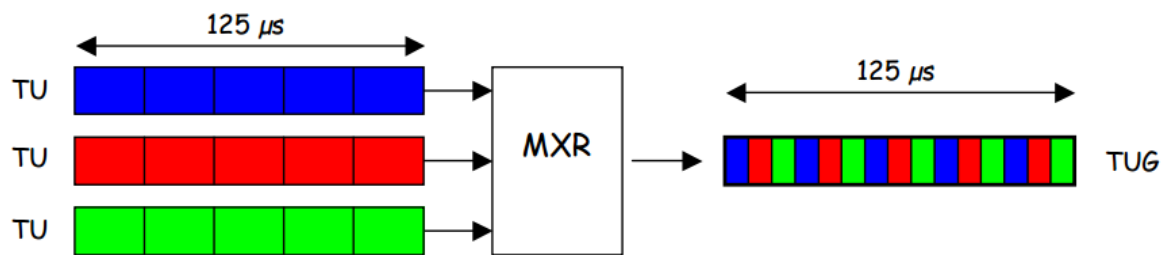


Figure III.6. Conception d'une TUG à partir de 3 TUs

E. Le conteneur virtuel d'ordre supérieur (VC-HO) : Un conteneur virtuel de niveau supérieur VC-HO est constitué soit par groupement de plusieurs TUG, soit directement à partir d'un affluent extérieur haut débit. Dans tous les cas, 9 octets POH sont attribués à chaque VC-HO. Des octets de bourrage et de justification peuvent aussi être ajoutés afin adapter la taille du VC-HO à la structure de la trame SDH.

F. L'unité administrative (AU) : L'unité administrative (AU) est composée du VC4 et d'un pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4 dans la trame.

G. Le Groupe d'Unité Administrative(AUG) :un groupe AUG se compose d'un ensemble homogène d'unités AU-3 ou d'une unité AU-4 occupant des positions fixes et définies dans la capacité utile d'un STM (Synchronous Transport Module).

III.3.2. Trame de base du SDH

La trame de base STM1 représente le premier niveau de l'hierarchie numérique synchrone, constituée d'une AUG associée à un surdébit SOH (Section OverHead) qui se décompose en deux sous ensembles : le RSOH et le MSOH.

La trame SDH est représentée sous forme d'une matrice de 9 lignes et 270 colonnes où chaque case est sur 1 octet ce qui fait que la trame transporte 2430 octets tous les 125 µs avec une fréquence de 8KHz, on aura au final un débit de $2430 \times 8 / 125 = 155,52$ Mbit/s.

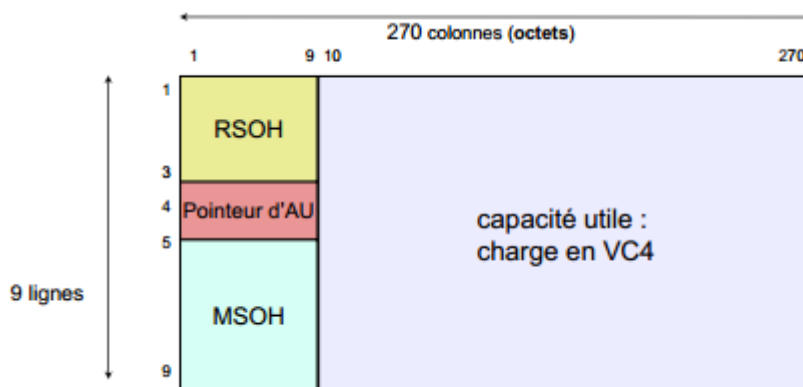


Figure III.7. La structure d'une trame de base STM-1

A. L'en-tête de section de régénération (RSOH)

Elle occupe les 9 octets des trois premières lignes, utilisé pour dialoguer avec /entre les régénérateurs. RSOH peut accomplir les fonctions suivantes :

- Synchronisation des trames
- Contrôle de parité
- Voies de données
- Voies de parole

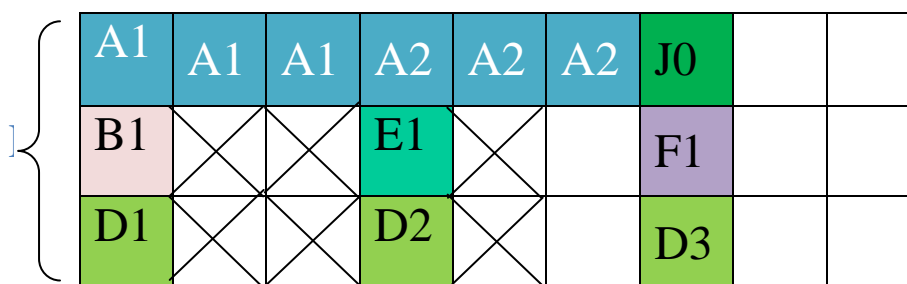


Figure III.8. Structure de la RSOH

Le tableau ci-dessous décrit les différentes fonctions des octets de la partie RSOH :

En-tête	Fonction
A1, A2	Ces octets sont réservés pour le mot d’alignement de la trame ou mot de verrouillage de la trame.
J0	L’octet est réservé pour l’identification de la trace de régénérateur et la vérification de la connexion.
B1	Il permet la surveillance du taux d’erreurs des sections élémentaires régénérées.
E1	Constitue un canal de service à un débit de 64Kbit/s pour des communications au niveau des régénérateurs.
F1	Réservé aux besoins de l’utilisateur (opérations de maintenance ou transmission d’alarmes 64Kbit/s).
D1, D2, D3	C’est des canaux de communication de données à 192Kbit/s au niveau de régénérateurs.
X	Octet réservé pour la normalisation internationale.
	Octet réservé pour l’utilisation nationale.

Tableau III.4.Fonctions des octets de la RSOH

B. L’en-tête de section de multiplexage (MSOH)

Elle occupe les 9 octets des 5 dernières lignes, utilisé pour communiquer avec/entre les multiplexeurs. MSOH peut accomplir les fonctions suivantes [4] :

- Commutation automatique des voies de secours
- Contrôle de parité B2
- Transmission d’alarmes
- Transmission de voies de données
- Transmission de voies de parole

B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12		
S1					M1	E2		

Figure III.9.Structure de la MSOH

Le tableau ci-dessous décrit les différentes fonctions des octets de la partie MSOH :

En-tête	Fonction
B2	Les 3 octet de B2 permettent d'évaluer la parité entre les éléments de réseau.
E2	Constitue un canal de service à un débit de 64Kbit/s communications vocales au niveau des multiplexeurs.
K1, K2	Ces deux octets servent à la gestion de la sécurisation c (demande de secours, indication de canal de secours ...).
D4....D12	C'est des canaux de communication de données à 576K niveau des multiplexeurs.
S1	Utilisé pour la gestion et la qualité de la synchronisation équipements.
M1	Il indique au distant le taux d'erreurs détecté sur B2

Tableau III.5.Fonctions des octets de la MSOH

C. Le pointeur (PTR)

Le pointeur joue un rôle essentiel dans la trame SDH car il permet de définir le décalage entre la trame d'un conteneur virtuel et la trame de l'entité de transport dans lequel il est placé [4].le pointeur occupe les 9 premiers octets de la 4eme ligne (entre le RSOH et MSOH).le pointeur permet de tenir compte à la fois :

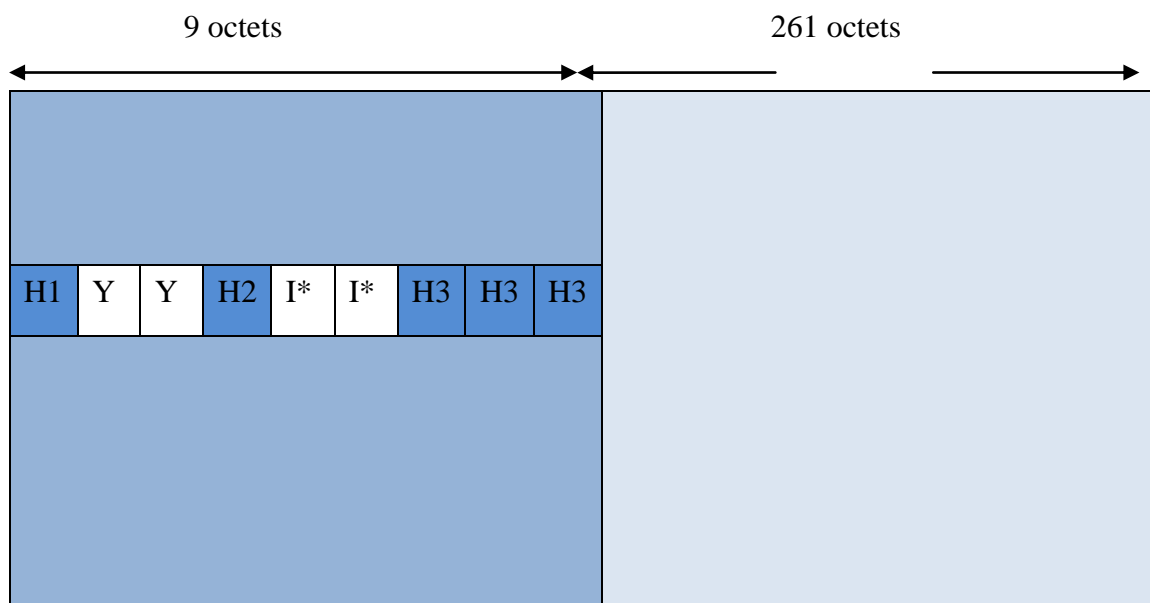


Figure III.10.structure de pointeur

Le tableau ci-dessous décrit les différentes fonctions des octets de pointeur :

En-tête	Fonction
Y et I*	Ces octets sont utilisés dans le système américain (SONET).
H1 et H2	Servent au codage de l'adresse du pointeur.
H3	Les 3 octets H3 sont réservés à la justification négative quand ce est nécessaire.

Tableau III.6.Fonctions des octets de pointeur

Afin localiser l'octet de départ d'un VC4 dans un STM-1, le pointeur utilise les 10 derniers bits des octets H1 et H2 pour adresser à l'emplacement du VC4, ceci donne un maximum de 1024 adresses possibles qui correspond au déplacement depuis le 10^{ème} octet suivant la zone de pointeur, or le VC4 occupe 9 lignes et 261 colonnes donc 2349 combinaisons d'où l'impossibilité de le localiser avec 1024 combinaisons. Pour remédier au problème d'adressage la solution consiste à regrouper les octets de la capacité utile VC4 par groupe de 3 octets ; ce qui conduit à $2340/3=783$ groupes d'octets localisables numérotés de 0 à 782. Enfin pour parer aux défauts de synchronisation, la méthode de la justification est utilisée.

C.1. La justification

La hiérarchie SDH pose un problème de débit qui varie de plus ou moins Dx bit/s par rapport au débit nominal X bit/s du signal entrant. Or une trame de transport a un débit fixe, c'est pour cela que l'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe, cette opération s'appelle la Justification. On parle de Justification positive, nulle, négative.

- **La justification positive :** si le débit de l'affluent est inférieur au débit nominal, l'affluent ne pourra être inscrit sur la durée d'une trame. La capacité de la charge utile ne sera plus utilisée en totalité et des octets de bourrage seront insérés.
- **La justification négative :** si le débit de l'affluent est supérieur au débit nominal, l'affluent doit pouvoir déborder hors de la capacité utile, des octets sont réservés à cet effet dans le surdébit.
- **La justification nulle :** si le débit de l'affluent est égale au débit nominal, aucun décalage n'est fait.

D. Le surdebit de gestion (POH)

Le surdebit de gestion POH (path overhead) permet l'échange des données de services entre l'émetteur et le récepteur de même niveau, le POH occupe 9 octets pour les VC4, VC3 et 4 octets pour VC11 et VC,12 il contient des informations sur le conteneur liées à la surveillance de la qualité des signaux d'alarme et de maintenance à distance, a la qualité de signal transporté et a la structure du multiplexage.

➤ **Le surdébit de gestion supérieur (VC4 et VC3)**

Le POH des VC-3 et VC-4 sont constitués de la première colonne de ses conteneurs virtuels d'où sa capacité est de 9 octets.

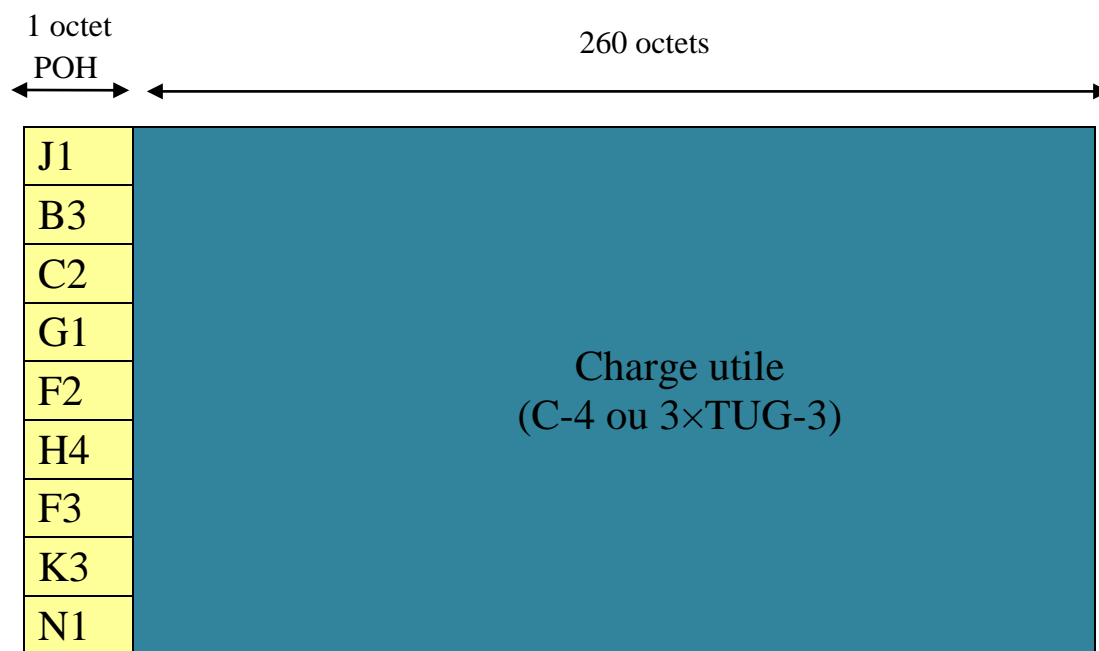


Figure III.11.structure de POH

Le tableau ci-dessous décrit les différentes fonctions des octets de surdebit :

En-tête	Fonction
J1	Il sert à transmettre un identificateur du conduit constitué par le VC4 afin d'indiquer au récepteur l'adresse de point émetteur.
B3	Il permet la surveillance de la qualité du VC4 par calcul de parité.
C2	Il est appelé étiquette de signal permet l'identification de la charge du VC4 (composition du conteneur virtuel).
G1	Il indique l'état du conduit en permettant le retour au distant des défauts en local.
F2, F3	Ils sont alloués pour des communications de l'utilisateur entre des éléments de chemin.
H4	Il permet d'identifier la portion de TU-12 dans le VC4.
K3	Signalisation de la protection automatique APS (Automatic Protection Switching), ils donnent un numéro de canal utilisé pour le dispositif de protection.
N1	Il permet la surveillance d'une connexion en cascade.

Tableau III.7.Fonctions des octets de surdebit de gestion (POH)

➤ **Le surdébit de gestion inférieur (VC12 et VC11)**

Le POH de surdébit de gestion inférieur est constitués de 4 octets : V5, J2, N2 et K4.

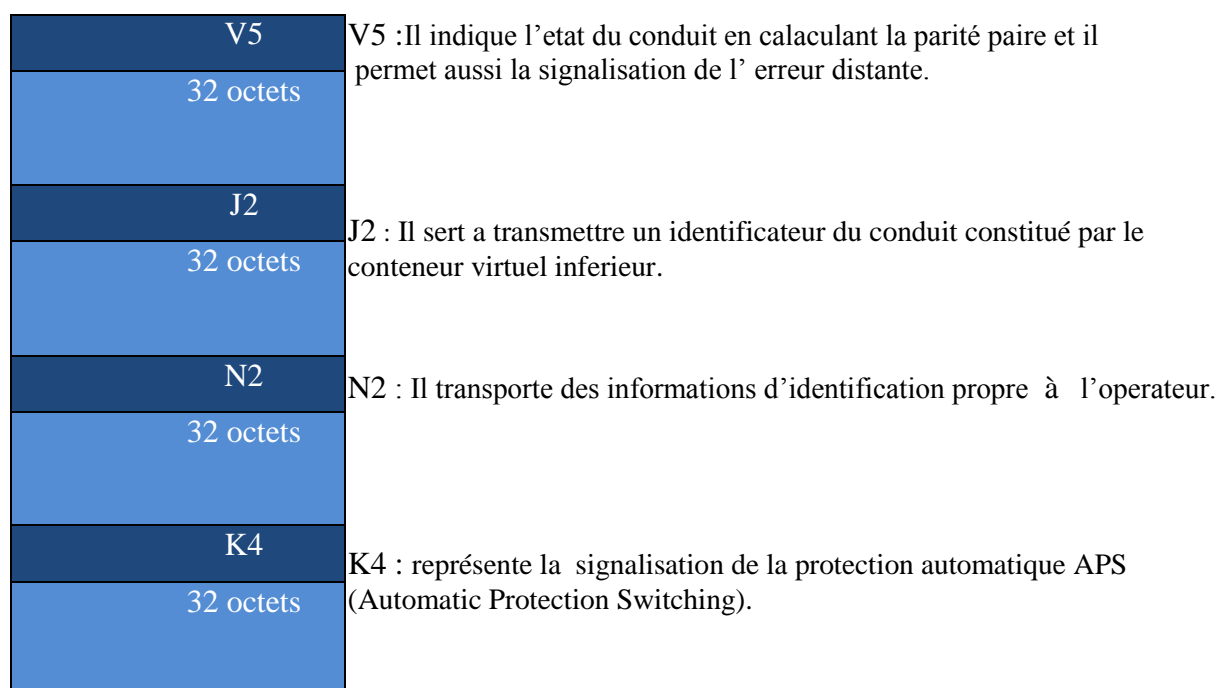


Figure III.12. Le surdébit de gestion inférieur

III.3.3. La trame STM-n

Les trames STM-n (STS-n pour la norme américaine) sont obtenues par multiplexage octets par octets de n VC4 qui composent les n AUG [5].

SDH	SONET	DEBIT (Mbit/s)	Nombre de voies Kb /s
	STS-1	51.84	
STM-1	STS-3	155.52	1920
STM-4	STS-12	622.08	7680
STM-16	STS-48	2488.32	30720
STM-64	STS-192	9953.28	122880

Tableau III.8.Répertoire des debits de la hiérarchie SDH/SONET

III.3.4. La Composition d'un réseau SDH

Les données transportées par le réseau SDH sont acheminées à leurs destination grâce aux différents équipements qui constituent le réseau SDH à savoir : les multiplexeurs (MIE et MTS), les régénérateurs et les brasseurs numériques (DXC).La figure ci dessous nous illustre l'infrastructure du réseau SDH

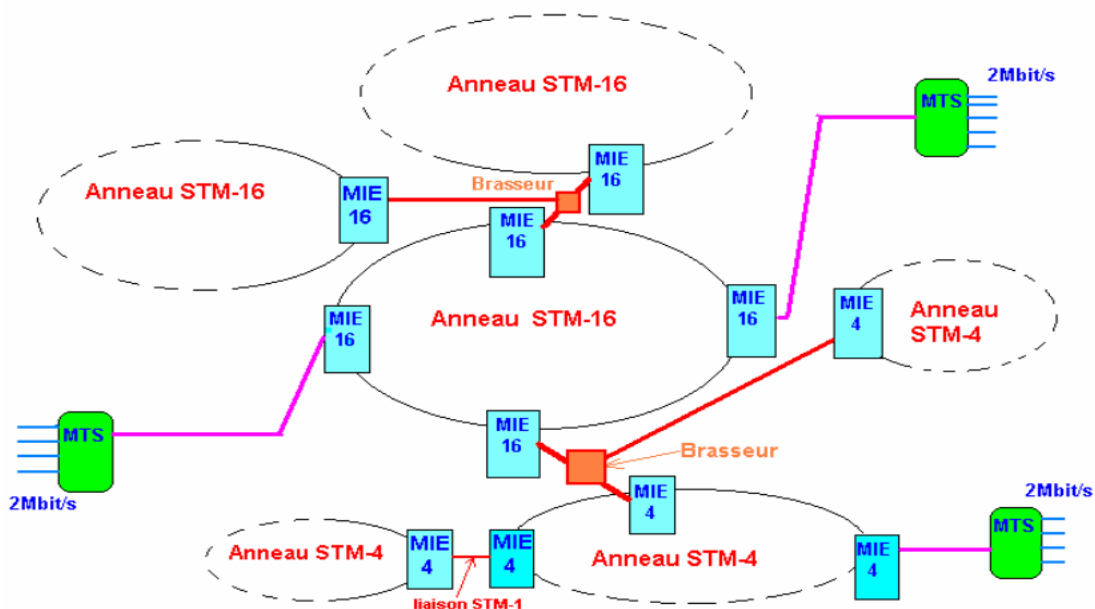


Figure III.13.Infrastructure du réseau SDH

III.3.4.1. Les multiplexeurs SDH

Le principe des multiplexeurs est d'envoyer (a l'origine) et a extraire (a l'arrivée) les blocs de données des abonnés qui ont été assembles dans des trames STM-n et acheminées par le réseau .On distingue deux types de multiplexeurs :

A. Multiplexeur d'insertion /extraction (MIE)

Le multiplexeur d'insertion/extraction (MIE) ou ADM (Added Drop Multiplexer) permettent de récupérer les données transmises ou d'incorporer de nouvelles.

Ce type d'équipement est utilisé dans des architectures en ligne ou en anneau, cependant l'utilisation des MIE présente un inconvénient majeur qui porte sur le nombre insuffisant d'accès au bas niveau (2Mbit/s) qui est le plus utilisé [2].

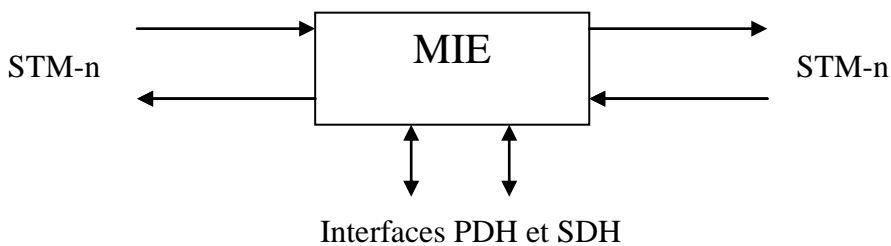


Figure III.14. Multiplexeur d'insertion /extraction (MIE)

B. Multiplexeur terminal simplifié(MTS)

Le multiplexeur terminal simplifié est le plus utilisé et il permet le multiplexage de n signaux affluents à partir des hiérarchies PDH (plésiochrone) pour former une trame STM-1 ou N signaux SDH (synchrone) afin de former une trame STM-4 o u STM-16.

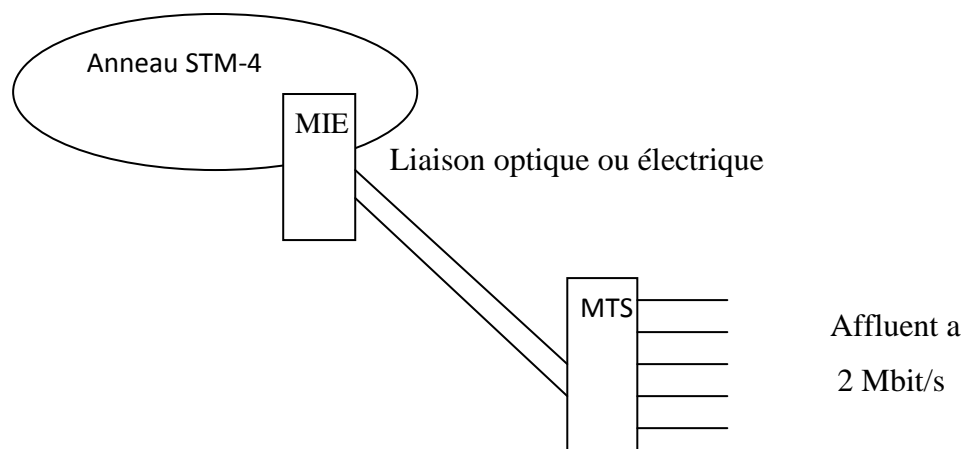


Figure III.15.L'utilisation d'un Multiplexeur terminal simplifié(MTS)

III.3.4.2. Les régénérateurs

Ils régènèrent le signal optique. Cet équipement permet de restauré la qualité du signal dans les voies de transmission SDH et cela donne possibilité d'augmenter la distance entre deux sites d'extraction. Ce n'est pas une régénération analogique : Le RSOH est extrait, analysé puis un nouveau RSOH est inséré. Le reste de la trame n'est pas modifié. Les bits sont remis en forme, ré-amplifiés et re-synchronisés[2]. Les seuls changements sont :

- B1 (taux d'erreur),
- E1 & F1 (données de l'exploitant),
- D1, D2 & D3 (transport de la gestion).

Il est donc possible d'envoyer des commandes au régénérateur, de récupérer ses alarmes (d'environnement ou bien sur le trafic).

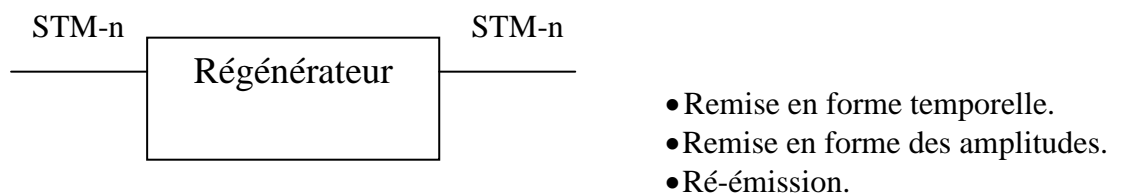


Figure III.16. Régénérateur

III.3.4.3. Les brasseurs (DXC; Digital Cross-Connect)

Les brasseurs peuvent jouer le rôle d'un ADM, ces équipements permettent de commuter et d'établir des liaisons numériques, multiplexage et démultiplexage des affluents PDH/SDH et création des niveaux SDH supérieurs.

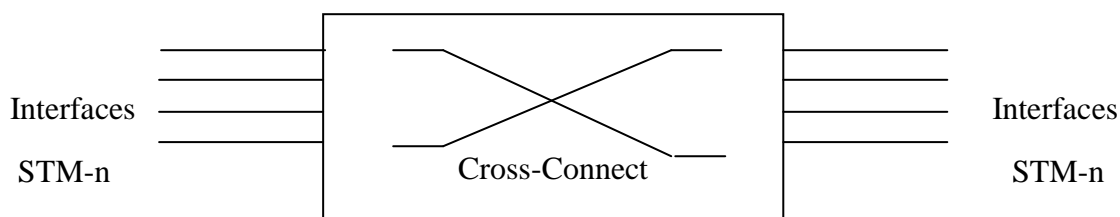


Figure III.17. Les brasseurs DXC

III.3.4.4. Schéma du canal de communication

Le schéma ci-dessus nous montre l'utilisation des équipements SDH pour former un canal de transmission [5].

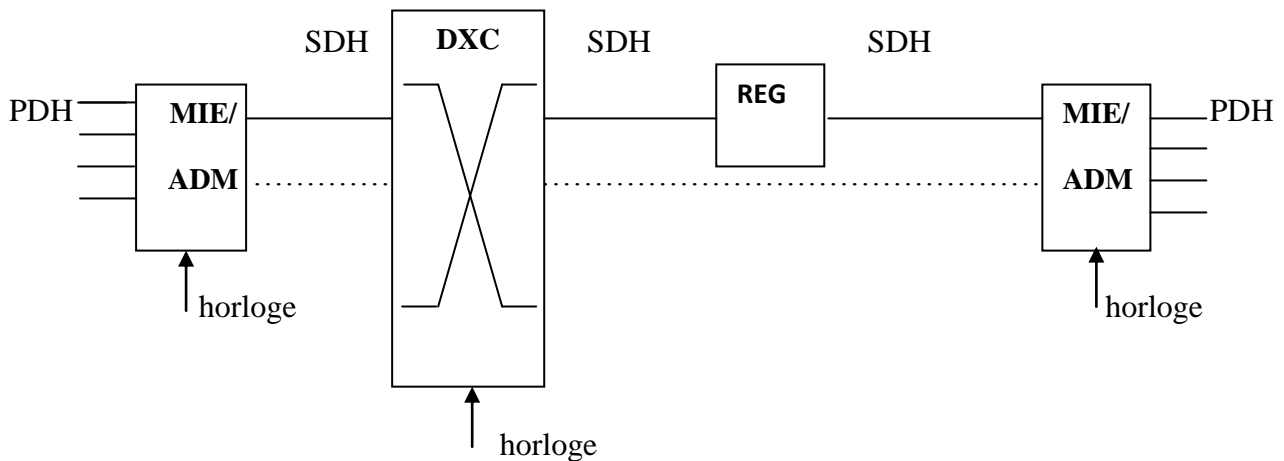


Figure III.18. Schéma du canal de communication

III.3.5. Topologie des réseaux SDH

Lors du déploiement des réseaux SONET - SDH, l'aspect topologique de ceux-ci ne doit pas être négligé. Il faut prendre en compte un certain nombre de considérations fondamentales car elles sont utilisées pour interconnecter d'autres réseaux haut débit ou les défaillances ne sont pas admises. Parmi ces considérations il existe :

- Le respect des performances :
 - Respect du débit prévu
 - Respect du synchronisme qui est la base du fonctionnement de ces réseaux
 - Acheminer les données en un temps minimum
- Assurer la meilleure disponibilité possible de ces réseaux
 - Pallier automatiquement les défaillances (câbles coupés, panne électrique, incendie d'un nœud)

Pour répondre à ces exigences, il existe plusieurs architectures telle que : la topologie anneau et point à point.

A. Topologie point a point

La configuration de réseau simple implique deux multiplexeurs terminaux reliés par fibre avec ou sans un régénérateur dans le lien. Dans cette configuration, le conduit SDH et le chemin d'accès de service (par exemple, E1 ou E3 liens de bout en bout) sont identiques et cette île synchrone peut exister au sein d'un monde de réseau asynchrone.



Figure III.19. Structure de la Topologie point à point

B. Topologie en anneau

La topologie en anneau est la plus utilisée dans les réseaux SONET-SDH, vu qu'elle possède une propriété intéressante liée à la fiabilité en cas de rupture de liaison. Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux.

On distingue deux architectures concernant la topologie en anneau : architecture en anneau unidirectionnel et bidirectionnel.

➤ **Architecture en anneau unidirectionnel (monofibre)**: le trafic d'émission et réception circule dans le même sens sur l'anneau, cette architecture ne permet pas de fonction de protection, ensuite l'autre défaut de cette anneau est que le temps de transmission entre deux nœuds est différent suivant le sens du flux.

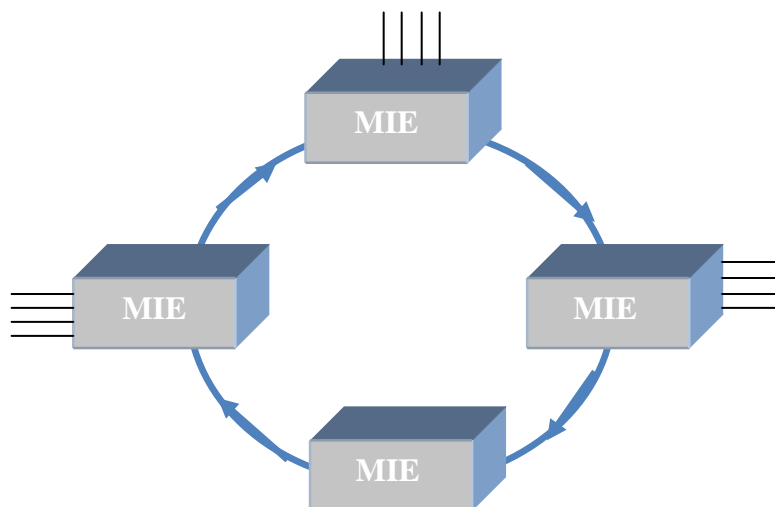


Figure III.20. Architecture en anneau unidirectionnel

➤ **Architecture en anneau bidirectionnel (2 fibres) :** cette architecture prévoit 2 fibres dans lesquels le trafic d'émission et réception circule dans les deux sens sur l'anneau. Il peut être unidirectionnel avec une fibre, la deuxième fibre en sens inverse restant en secours ; c'est la configuration d'un anneau à protection dédiée de section de multiplexage ; la rupture complète d'un arc oblige la protection à revenir dans un mode bidirectionnel qu'il semble donc préférable d'utiliser.

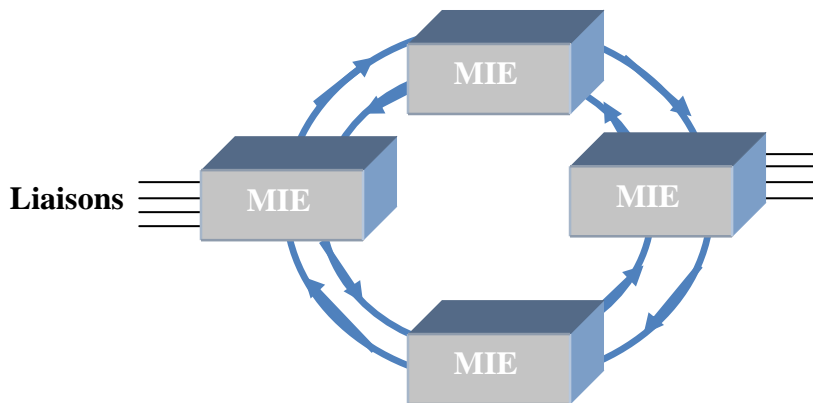


Figure III.21. Architecture en anneau bidirectionnel

III.3.5. Synchronisation des réseaux SDH

Dans un réseau SDH, les pertes de données causées par les problèmes de synchronisation sont réduites par l'utilisation dans tous les nœuds du réseau des horloges synchronisées avec une horloge de référence. Ceci est réalisé grâce à la distribution d'une horloge très stable sur tous les éléments du réseau.

Les équipements de réseau SDH sont tous synchronisés avec une horloge principale qu'on appelle horloge de référence de qualité PRC (primary reference clock) conforme à la recommandation G.811 de l'UIT-T. L'horloge de référence est distribuée sur tout les nœuds du réseau et sert à synchroniser dans chaque élément une horloge esclave (Secondary Reference Clock). La distribution de l'horloge de référence suit la hiérarchie suivante :

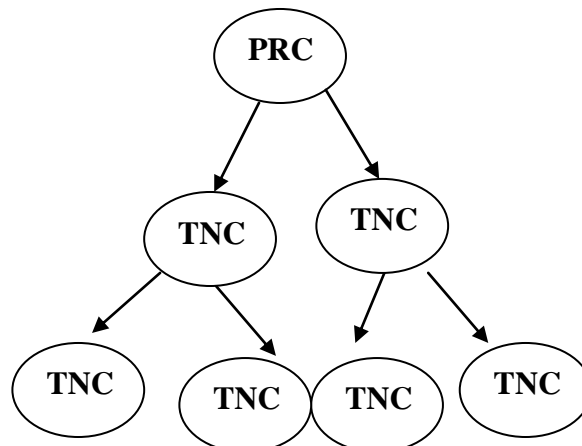


Figure III.22. La répartition des horloges sur un réseau SDH

III.4. Multiplexage WDM (Wavelength Division Multiplexing)

La croissance spectaculaire du trafic Internet et téléphonique oblige les opérateurs de réseau à augmenter toujours la capacité de transmission de leur réseau terrestre en fibre optique. Il faudra offrir des capacités de plusieurs Gigabits sur une seule fibre, en utilisant le multiplexeur en longueur d'onde WDM (Wavelength Division Multiplexing).

III.4.1. Principe du WDM

Le principe du WDM consiste à transmettre simultanément sur une même fibre plusieurs signaux, provenant de sources diverses, chacun étant véhiculé par une longueur d'onde différente. Les systèmes actuels autorisent 4, 8, 16,32 et même 64 canaux optiques différents. Par exemple chacune pouvant supporter 2,5Gbits/s, on obtient alors des débits de 10, 40,80 et même 160Gbits/s. A partir de différentes sources émettant chacune à une longueur d'onde propre, de regrouper et d'injecter ces canaux dans une seule fibre sans qu'il y ait de mélange entre eux au cours de la propagation [8].

A l'extrémité de la fibre, il suffit de séparer ces longueurs d'ondes et de les envoyer sur autant de détecteurs différents pour retrouver les signaux électriques initiaux.

Il faut noter qu'il existe des sources émettant simultanément plusieurs longueurs d'onde.

La capacité du système de transmission à WDM a augmenté parallèlement avec l'augmentation du débit par canal en multiplexage temporel (TDM) de 2,5Gbbits/s à 10Gbit/s.

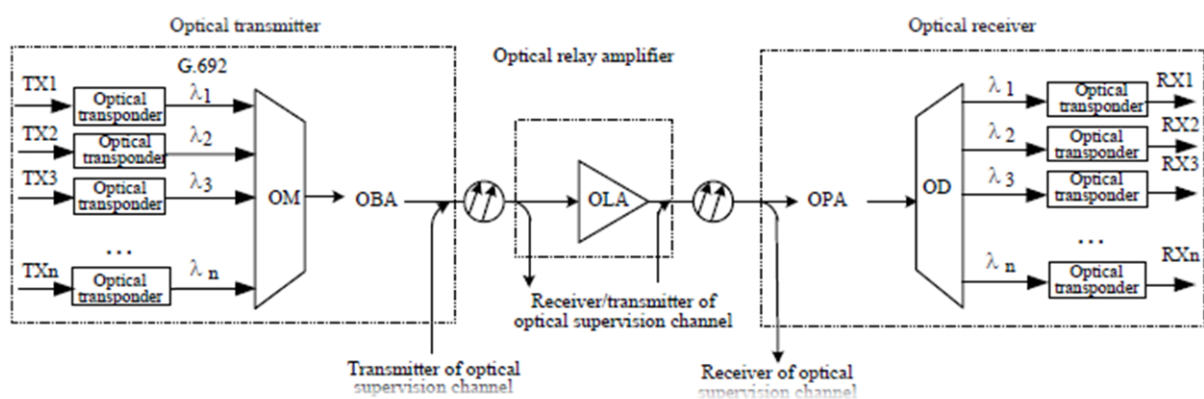


Figure III.23. Multiplexage WDM

III.4.2. La technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

La nouvelle technologie DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) devient le moyen le plus efficace et pratique pour le développement de la fibre. Avec des avantages techniques uniques, la technologie DWDM devient un moyen simple et économique pour étendre la capacité de transmission par fibres d'une manière rapide et efficace. Il peut répondre pleinement à la nécessité actuelle de développement de services à large bande du réseau et établit une base solide pour le développement du futur réseau de transmission entièrement optique [2].

DWDM est une des technologies WDM autrement dit la technologie WDM est dite DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 0,8 nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés. Un système à 16 canaux de 2.5Gbits/s, soit 40Gbit/s permet l'acheminement de 500000 conversations téléphoniques. Il faut également s'attendre à un accroissement du débit offert sur chaque canal qui pourrait rapidement atteindre 10Gbit/s.

III.4.2. Relation entre DWDM et SDH

1. Relations entre DWDM et SDH sur la couche de transmission de réseau optique : Le système de multiplexage SDH met en œuvre, cross-connexion et le réseautage sur la couche de canal électrique. Le système de multiplexage WDM met en œuvre, cross-connexion et la mise en réseau sur le domaine optique.

2. Les modes de multiplexage des signaux DWDM et SDH: pour La SDH est le système de TDM sur la base d'une seule longueur d'onde (une fibre de transmettre un canal de longueur d'onde). Lorsque le débit de transmission dépasse 10 Gbit / s, la dispersion de système et d'autres influences négatives augmente la difficulté de transmission à longue distance. La technologie DWDM transmet simultanément porteuse optique multiple des signaux de différentes longueurs d'onde dans la même fibre, en utilisant pleinement la bande passante ressources de la fibre et l'augmentation de la capacité de transmission du système.

3. DWDM capable de transmettre différents types de signaux: l'heure actuelle, la plupart des signaux client-couche dans le système DWDM sont des signaux SDH. Mais les longueurs d'onde utilisées dans le système DWDM sont mutuellement séparées avec les formats de signaux de service, de sorte que chaque longueur d'onde peut transmettre les signaux optiques avec des caractéristiques totalement différentes, pour le bien de la transmission hybride de plusieurs types de signaux.

4. Les normes d'interface optique des signaux DWDM et SDH : Les interfaces optiques du dispositif SDH devraient accorder à la recommandation de l'UIT-T G.957, qui ne précise pas la longueur d'onde centrale de travail. Les interfaces optiques dans le système DWDM doivent être conformes à la Recommandation UIT-T G.692, qui spécifie la fréquence de référence de chaque optique canal, intervalle de canal, la fréquence centrale nominale (longueur d'onde centrale), fréquence centrale de décalage et d'autres paramètres. Par conséquent, le système DWDM peut être soit ouvert ou intégré.

La relation entre le système de DWDM et certains services communs est représentée dans la figure ci-dessous :

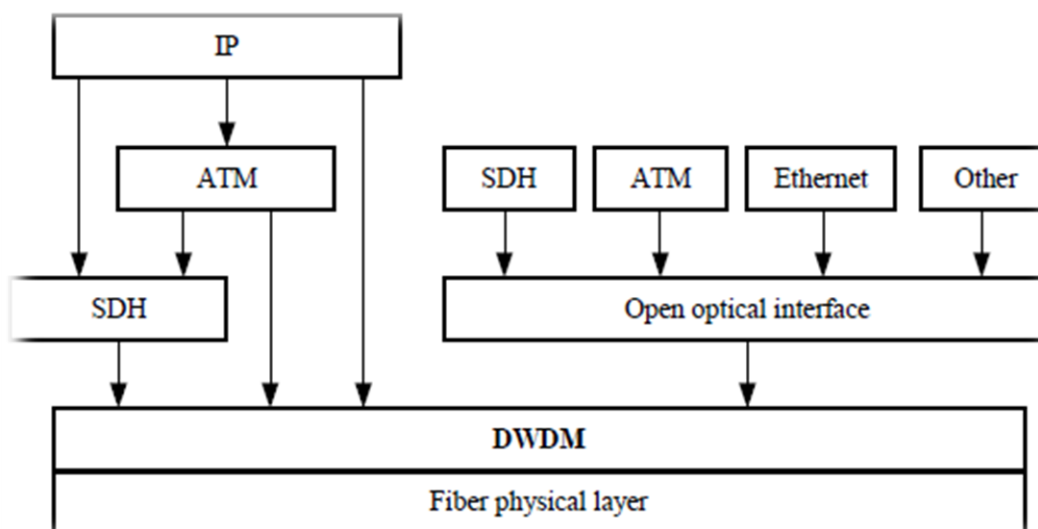


Figure III.24. La relation entre le système de DWDM et les autres services

III.4. Discussion

Nous avons vu principalement dans ce chapitre les différentes technologies utilisées dans les transmissions de données, et pour conclure on peut dire que l'association des deux technologies SDH et WDM dans les réseaux de télécommunication aura un impact considérable sur tous les aspects des services offerts à la clientèle et permettra une satisfaction totale de la bande passante des abonnés et des réseaux backbone haut débit.

Chapitre IV

Mise en service d'une liaison
optique haut-débit d'Algérie

Telecom

Préambule

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes étapes d'une mise en service d'une liaison optique point à point au sein d'Algérie télécom de TIZIOUZOU. En effet, durant mon stage chez Algérie TELECOM au niveau de centre CA2 de TIZIOUZOU, nous avons installé et configuré une liaison optique a 2,5 Gb/s Tizi-Ouzou /Draa el mizan.

IV.1. Présentation de l'entreprise Algérie Télécom

Algérie télécom est un opérateur public de téléphonie fixe, d'internet et de télécommunication par satellite. Créé le 10 avril 2003 après une séparation des activités postales et télécommunication des PTT.

Algérie télécom effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont :

- Réseaux public de transmission de données par paquets X25 (DZPAC) : 7600 accès.
- Backbone national de transmission a 10 Gb/s (SDH) ET 80 Gb/s (WDM).
- Backbone regional de transmission a 2.5 Gb/.
- Plus de 1000 communes (APC) rattachées en fibres optiques.

Dans se qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service des liaisons de transmission (SDH) point à point via fibre optique au sein du centre (CA2) d'Algérie télécom de Tizi-Ouzou. Les différentes étapes à suivre sont :

✓ Le dimensionnement de la liaison : on présentera cette étape on s'appuyant sur l'exemple de la liaison optique a 2,5 Gb/s Tizi-Ouzou /Draa el mizan.

✓ La pose de la fibre optique.

✓ L'installation et configuration des équipements (service SDH) : pour illustres au mieux cette étape, on se basera sur :

- L'exploitation de l'équipement Optix OSN 3500 d'une capacité 2,5 Gb/s.
- Un exemple de configuration des services SDH pour une localité demandant un débit de transmission (nombre déterminer des services E1).
- L'analyse de l'état de configuration de l'équipement installée du coté de Draa el mizan.

✓ La maintenance des liaisons : on verra les différentes méthodes de test des liaisons optiques et électriques utilisées par AT.

IV.2. Dimensionnement de la liaison optique 2,5 Gb/s Tizi-Ouzou /Draa El Mizan

L'objectif de cette étude expérimentale est de dimensionner une liaison optique avec une mise en service des équipements OSN 3500 d'une capacité de 2,5 Gb/s, et attribuer les débits de transmission offerts par cet équipement pour l'exploitation final entre Tizi-Ouzou et Draa El Mizan sur une distance de 40 Km.

Le cheminement de cette liaison décrite par la figure ci-dessous est fait ainsi : une liaison principale (ou liaison normale en vert) relie directement Draa El Mizan a Tizi-Ouzou en passant par un régénérateur de signal au niveau de Bordj Menaiel, et une autre liaison utilisé pour le secours (en rouge) a été convoyé de coté de Ouadhia pour rejoindre ensuite le centre d'amplification a Tizi-Ouzou (CA2).

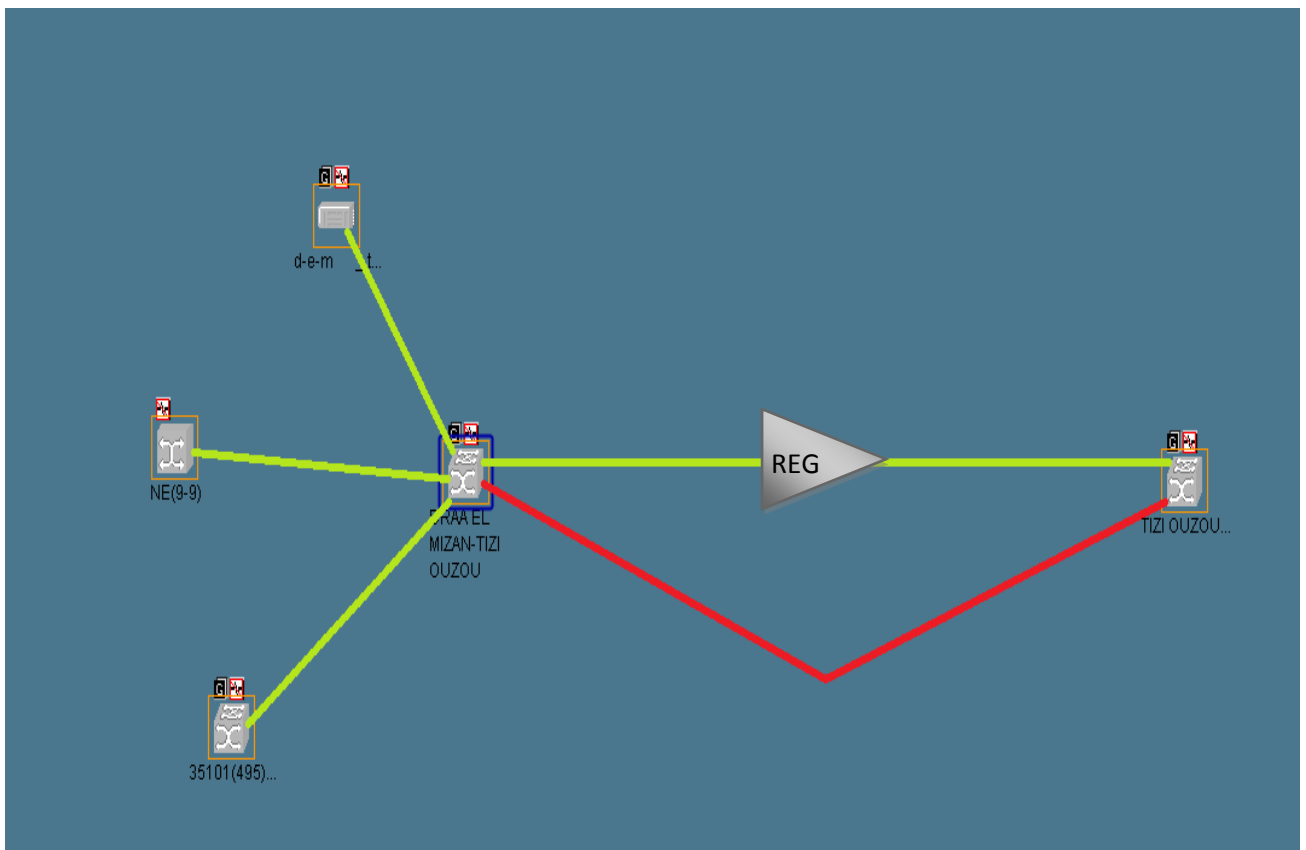


Figure IV.1.Liaison optique 2,5 Gb/s Tizi Ozou-Draa El Mizan

IV.2.1. La pose de la fibre optique

La mise en place de la fibre optique est assurée par le CEL (Centre d'Entretien des Lignes) qui est un service spécialisé d'Algérie télécom. Cette étape s'effectue en respectant les normes telles que l'étude de faisabilité et la mise de la fibre à une profondeur nécessaire (80 cm) en mettant à 40 cm de la surface de la terre un gréage avertisseur vert.

Le cheminement de la fibre optique se fait sur un nombre allant de 4 et 16 assemblées dans des câbles dits tubes desserrés en plastique et gaine externe PEHD.

IV.2.2. Présentation de l'équipement Optix OSN 3500 (2.5 Gb/s)

L'équipement Optix OSN 3500 est un système multi-ADM de Huawei, il permet la construction des liaisons point à point, anneau et maillé à un débit 2.5 Gb/s extensible à 10 Gb/s. Cet équipement supporte les protections MSP, MS-SPR et SNCP. Il est principalement utilisé au niveau du réseau de convergence (STM-16) et du réseau backbone (STM-64) au niveau métropolitain.

L'équipement Optix OSN 3500 comporte un nombre important de carte électronique qui sert d'interface pour SDH, PDH, la synchronisation, l'alarme et de gestion. Après la configuration des différentes cartes de l'équipement, Optix OSN 3500 permet l'accès à différentes capacités à savoir STM-64, STM-16 et STM-1 (en électrique ou en optique), E4, E1/T1, E3/DS3, DWDM, CWDM, FE, GE et ATM.

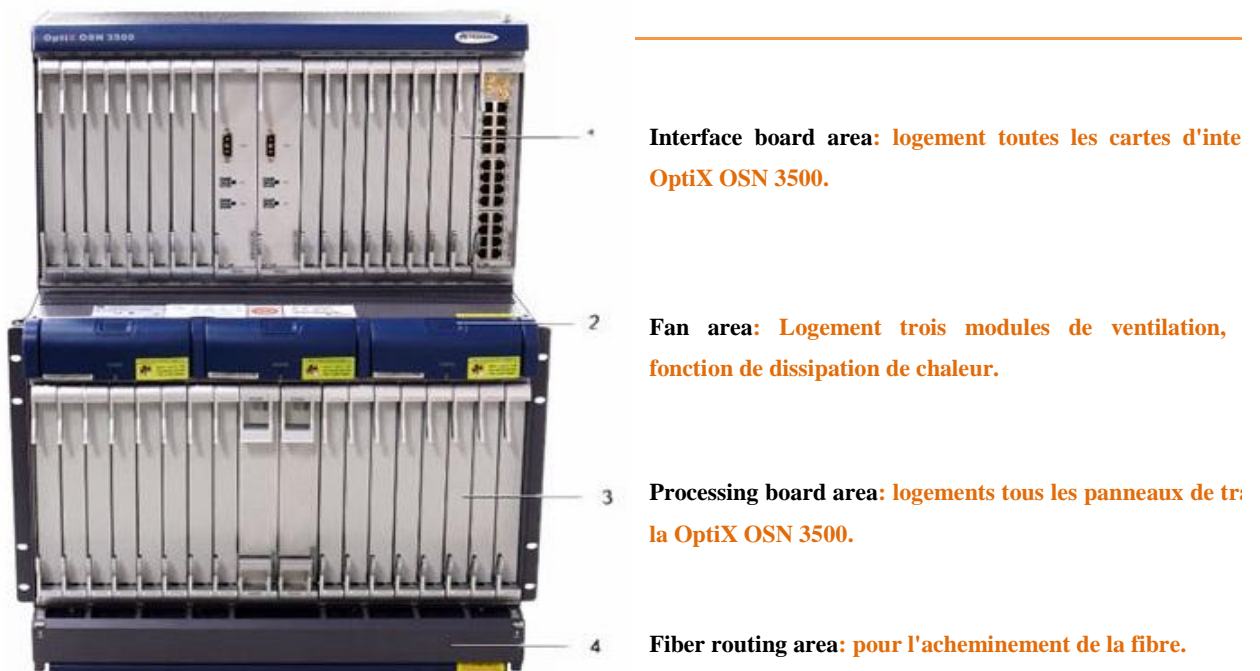


Figure IV.2.L'équipement Optix OSN 3500

IV.2.3. Caractéristiques de l'Optix OSN 3500 (2.5 Gb/s)

L'Optix 3500 est constitué de plusieurs cartes (optiques, électriques et de contrôle) qui assurent les services SDH. Le tableau ci-dessous nous informe sur ces différentes cartes et leurs fonctions :

Cartes	Nombre de	Fonction
SL16	02	Interface optique STM-16, elle reçoit / transmet sur un canal d'une capacité STM-16
GXCSA	02	Carte de la cross-connect
SEP	01	Carte de services 8/4 x STM-1
PL3A	01	Carte de Service et traitement
EFT8A	02	Carte d'interface Fast Ethernet
SL4	01	Carte d'interface optique STM-4
SCC	02	Carte de communication et contrôle du système
PQ1	04	Carte d'interface électrique d'une capacité 63 x E1
SLD	01	Carte d'interface optique 2 x STM-4

Tableau IV.1. Différentes cartes de l'OSN 3500

IV.2.4. Architecture de système de l'Optix 3500

Le système de fonctionnement de l'Optix 3500 est constitué de six unités principales :

1. **Unité de service TDM** : cette unité permet l'accès et le traitement des signaux à faibles débit (PDH, EoS, Ethernet, ATM) et des signaux optiques haut débit (STM-1/4/16/64).
2. **Unité de service par paquets** : sert d'interfaces aux sources Ethernet (FE/GE/10GE).
3. **Unité Cross-connect** : permet la commutation des paquets et le changement des VCs des signaux de niveau direction et canal.
4. **Unité timing** : elle fournit le signal de synchronisation pour le système.
5. **Unité auxiliaire** : fournit des interfaces auxiliaires pour surveiller l'équipement et l'état des signaux.
6. **Unité SCA** : permet de recueillir les alarmes.

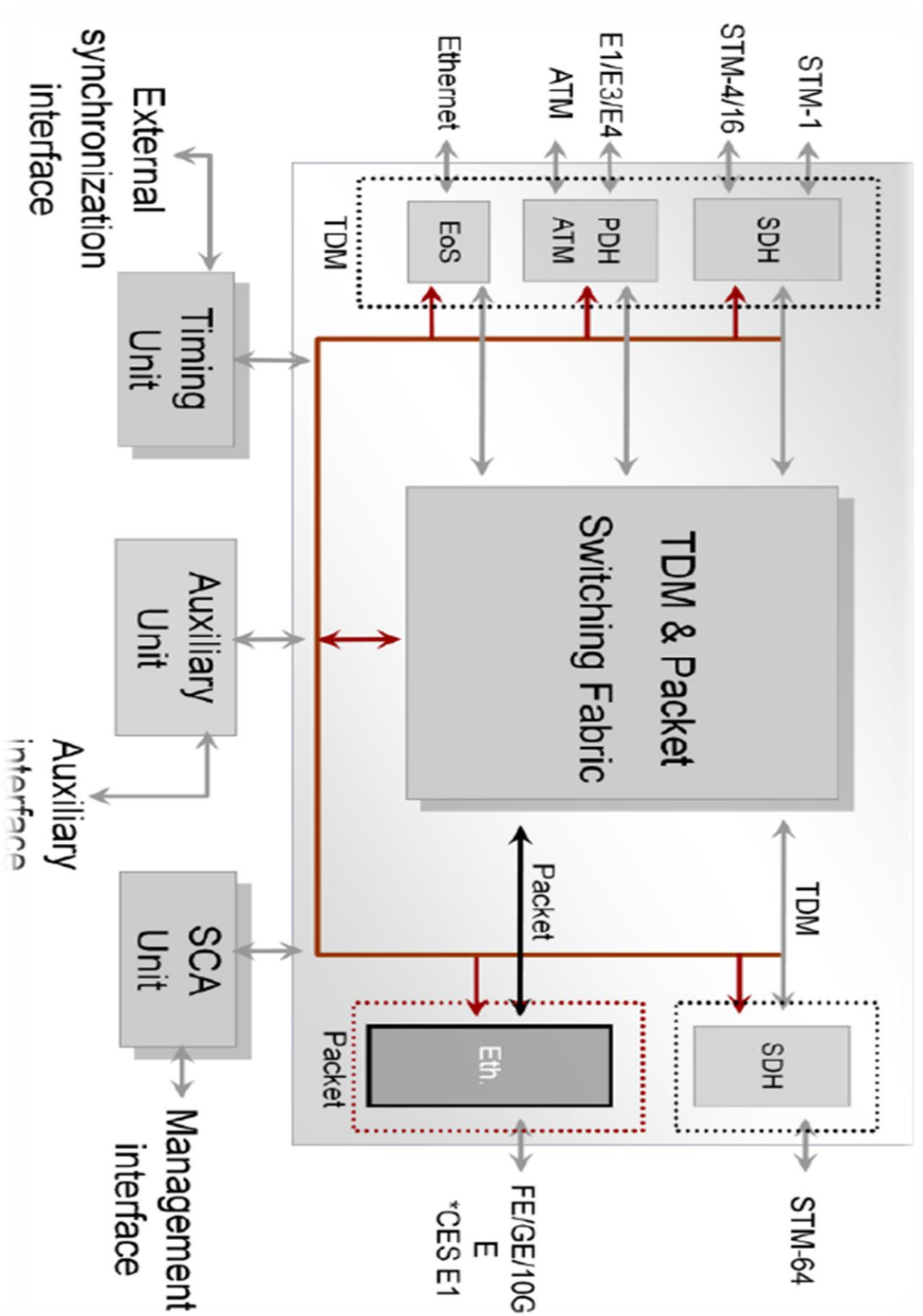


Figure IV. 3. Architecture de système de l'Optix 3500

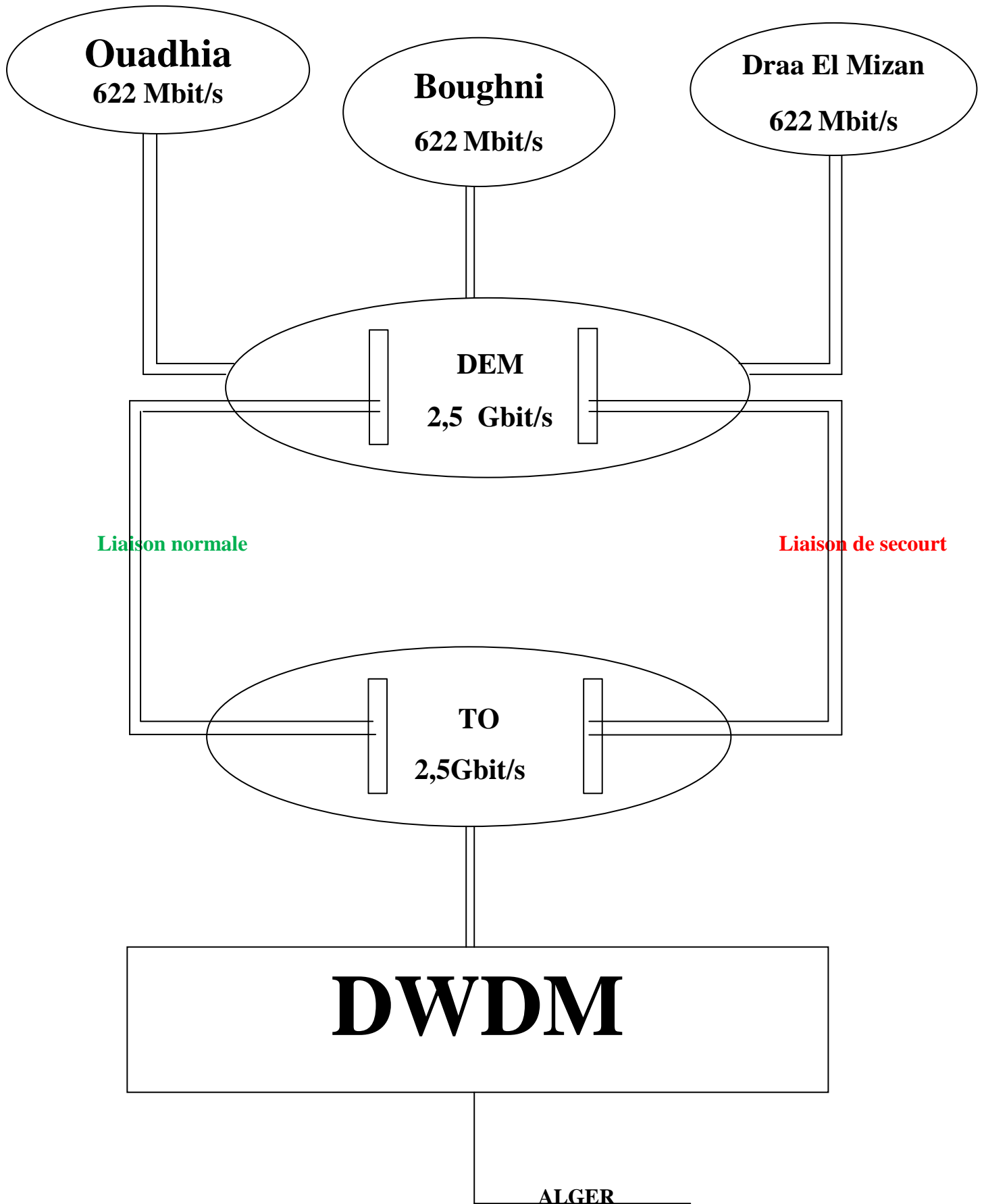


Figure IV.4.Schéma asymptotique de la liaison à 2,5Gbit/s

Table de Configuration des Timeslot _DRAA EL MIZAN-TIZI OUZOU

Niveau	Type de la ligne	Source Slot	Source Timeslot	Sink Slot	Sink Timeslot
VC12	Line-Tributary-Line	2-PQ1	1-63	8-N2SL16(SDH1)	VC4:1:1-63
VC12	Line-Tributary-Line	3-PQ1	1-21	8-N2SL16(SDH1)	VC4:2:22-42
VC12	Line-Tributary-Line	5-PQ1	1-21	6-N1SLD4(SDH1)	VC4:3:22-42
VC12	Line-Tributary-Line	5-PQ1	33-36	6-N1SLD4(SDH1)	VC4:1:1-4
VC12	Line Bidirectional	6-N1SLD4(SDH-1)	VC4:1:5-21	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:4:5-21
VC12	Line Bidirectional	6-N1SLD4(SDH-1)	VC4:3:43-63	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:2:1-21
VC3	Line Bidirectional	1-N1EFT8A(SDH-1)	VC4:3:1	6-N1SLD4(SDH-1)	VC4:4:1
VC3	Line Bidirectional	1-N1EFT8A(SDH-1)	VC4:3:3	6-N1SLD4(SDH-1)	VC4:4:2
VC3	Line Bidirectional	1-N1EFT8A(SDH-1)	VC4:1:1-3	16-N1SL4(SDH-1)	VC4:2:1-3
VC3	Line Bidirectional	1-N1EFT8A(SDH-1)	VC4:2:1-3	16-N1SL4(SDH-1)	VC4:3:1-3
VC3	Line Bidirectional	6-N1SLD4(SDH-1)	VC4:1:2-3	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:4:2-3
VC3	Line Unidirectional	6-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:1:2	11-N2SL16(SDH-1)	VC4:4:2
VC3	Line Unidirectional	6-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:1:3	11-N2SL16(SDH-1)	VC4:4:3
VC3	Line Bidirectional	6-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:2:1-3	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:7:1-3
VC3	Line Bidirectional	6-N1SLD4-1(SDH-1)	VC4:3:1	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:8:1
VC3	Line Bidirectional	8-N2SL16-1(SDH-1)	VC4:5:1-3	15-N1EFT8A(SDH1)	VC4:1:1-3
VC3	Line Bidirectional	8-N2SL16-1(SDH-1)	VC4:6:1-3	15-N1EFT8A(SDH1)	VC4:2:1-3
VC3	Line Bidirectional	8-N2SL16-1(SDH-1)	VC4:9:1-2	15-N1EFT8A(SDH1)	VC4:3:1-2
VC4	Line Bidirectional	6-N1SLD4-2(SDH-2)	VC4:1-VC4:3	8-N2SL16(SDH-1)	VC4:14 - VC4:16
VC4	Line Bidirectional	7-N1SLQ1-1(SDH-1)	VC4:1	16-N1SL4(SDH-1)	VC4:4

Tableau IV.2. Table de Configuration des Timeslot

IV. 3. Description de la plateforme U 2000

L'U2000 est une plate-forme de gestion intégrée pour tous les équipements produits par Huawei. Il peut gérer les équipements de transport, équipement d'accès, et de l'équipement IP (y compris les routeurs, les équipements de sécurité, et Metro équipements Ethernet) de manière centralisée. L'U2000 est conçu comme le système de gestion des équipements Huawei. Avec des fonctions de gestion puissantes aux couches de NE et réseau, le U2000 est le produit de gestion réseau majeur propose comme une solution de Huawei.

IV. 3.1. La position de U 2000 dans un réseau de gestion des Télécommunications

La position de l'U2000 figure dans le réseau de gestion des télécommunications qui contiennent 5 couches d'accès repartis comme suit:

- ✓ **Network element layer** : c'est la couche où le logiciel de gestion est en phase terminale d'artisanat local.
- ✓ **Element management layer** : cette couche gère et configure les éléments de réseau (NE).
- ✓ **Network management layer** : est utilisé pour gérer une grande échelle réseau (réseau distribué).
- ✓ **Service management layer** : qui prend en charge la gestion des opérations de services intégrés incluant le service de location, vente en gros de la bande passante, VPN, etc.
- ✓ **Business management layer** : fournit des services à la clientèle. Cette couche est aussi où les applications de gestion d'entreprise internes partagent des informations avec des applications externes.

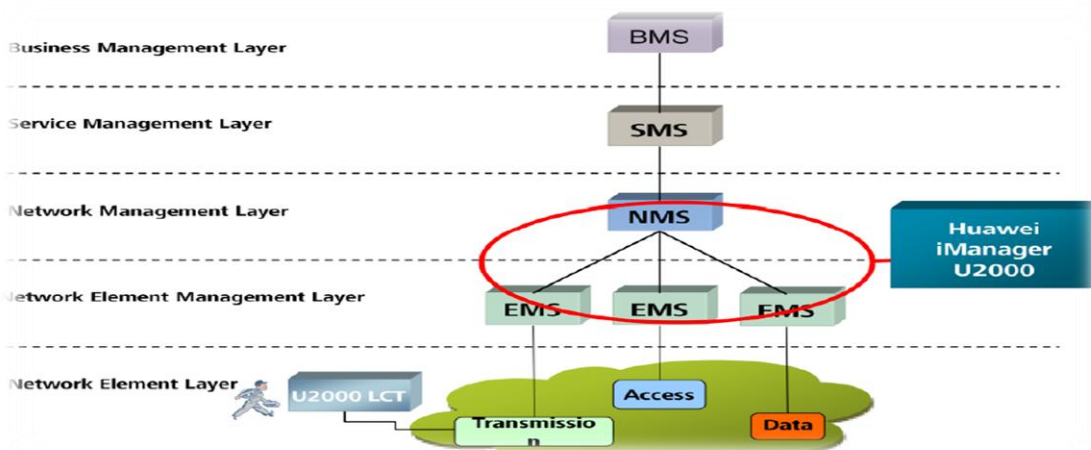


Figure IV.4. Position de U 2000 dans un réseau de gestion des télécommunications

IV. 3.2. Couche de gestion de réseau

L' U2000 répond à la tendance d'intégration de réseau et peut fournir des systèmes de gestion pour plusieurs types de scénarios de mise en réseau. Avec des interfaces graphiques unifiées et cohérentes, le déploiement de service simple et pratique, et le suivi efficace des services et de l'assurance, l'U2000 apporte une bonne expérience de l'utilisateur et réduit considérablement les coûts d'exploitation et de maintenance réseau.

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

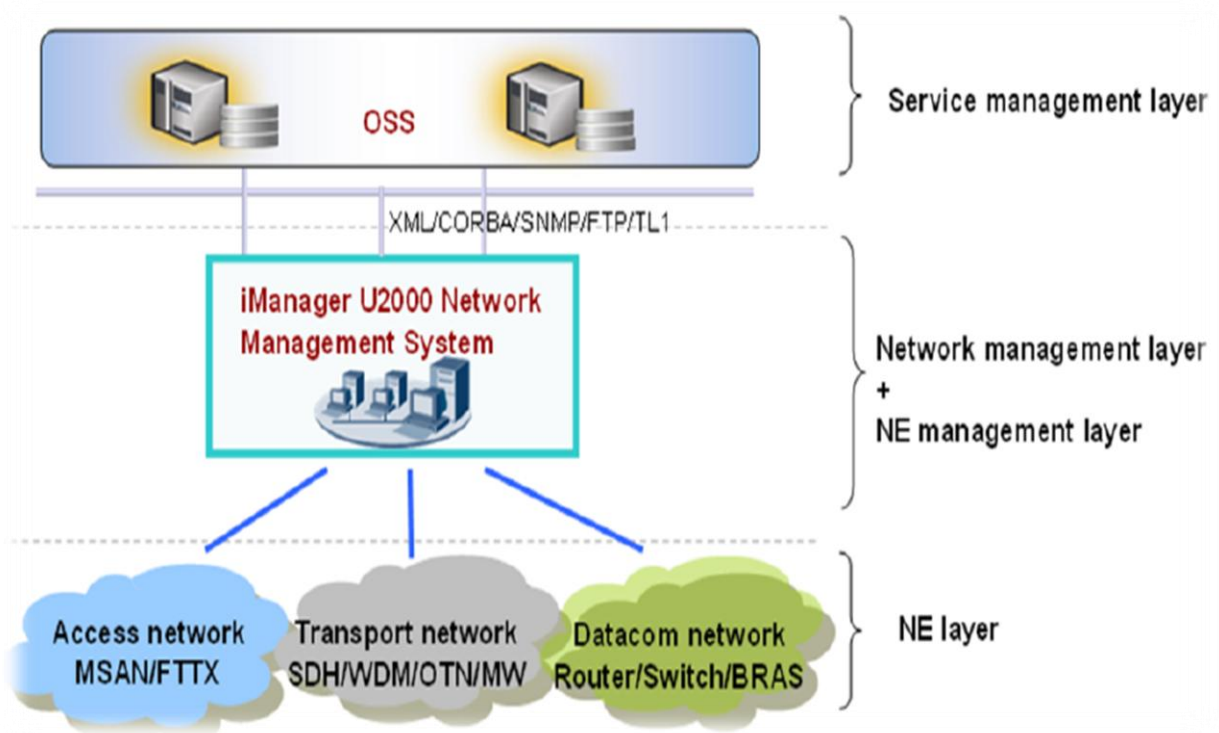


Figure IV.5. Position de U 2000 dans la couche de gestion de réseau

IV.4. Configuration d'un équipement 2.5 Gb/s Optix OSN 3500 "HUAWEI"

La configuration de l'équipement Optix OSN 3500 (2.5 Gb/s) se fait grâce à l'application U2000 qui nous permet de configurer des services tributaires des stations, tels que les services aux niveaux VC4, VC3 et VC12. En outre, on peut aussi configurer les services SNCP et d'autres services. Nous allons présenter les étapes de configuration différentes services :

A. Lancer U2000 (serveur client) :

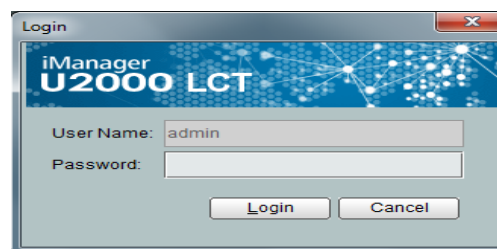
1. Double-cliquez sur l'icône "U2000Server" sur le bureau ensuite sur l'icône " U2000 LCT Client"



2. Une fenêtre d'accès apparaît sur l'écran, on tape le nom et l'identifiant de l'utilisateur pour pouvoir accéder à base de données de l'application.

User Name : admin

Password : U2000



3. Enfin on valide les informations en cliquant sur "Login" afin d'accéder aux informations de base de données de l'application. La fenêtre ci-dessous apparaît.

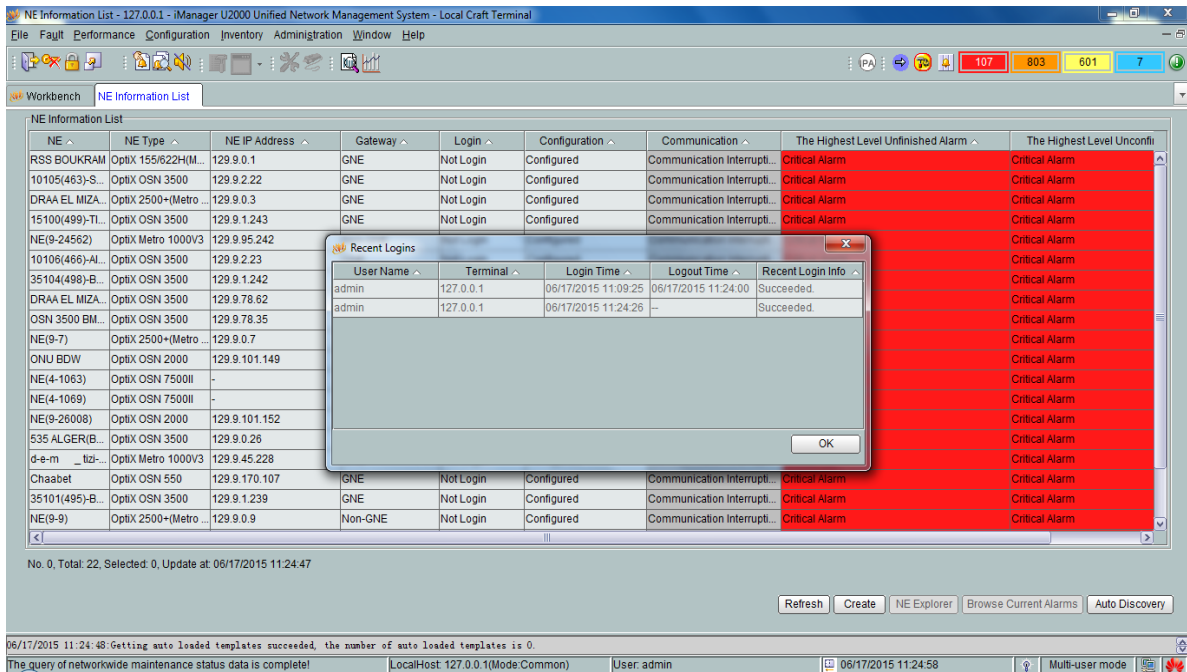


Figure IV.6. Interface graphique d'U2000

B. Rechercher et créer les équipements du réseau

1. Après avoir accéder a la base de données de l'application U 2000, on clique sur « **Auto Discovery**» afin de procéder a la recherche.
2. Ensuite la fenêtre ci-dessous apparait, on choisira le type d'équipements (**root** ou **lct**) et on clique sur « **Modify** » afin de saisir le mot de passe « **password** ».

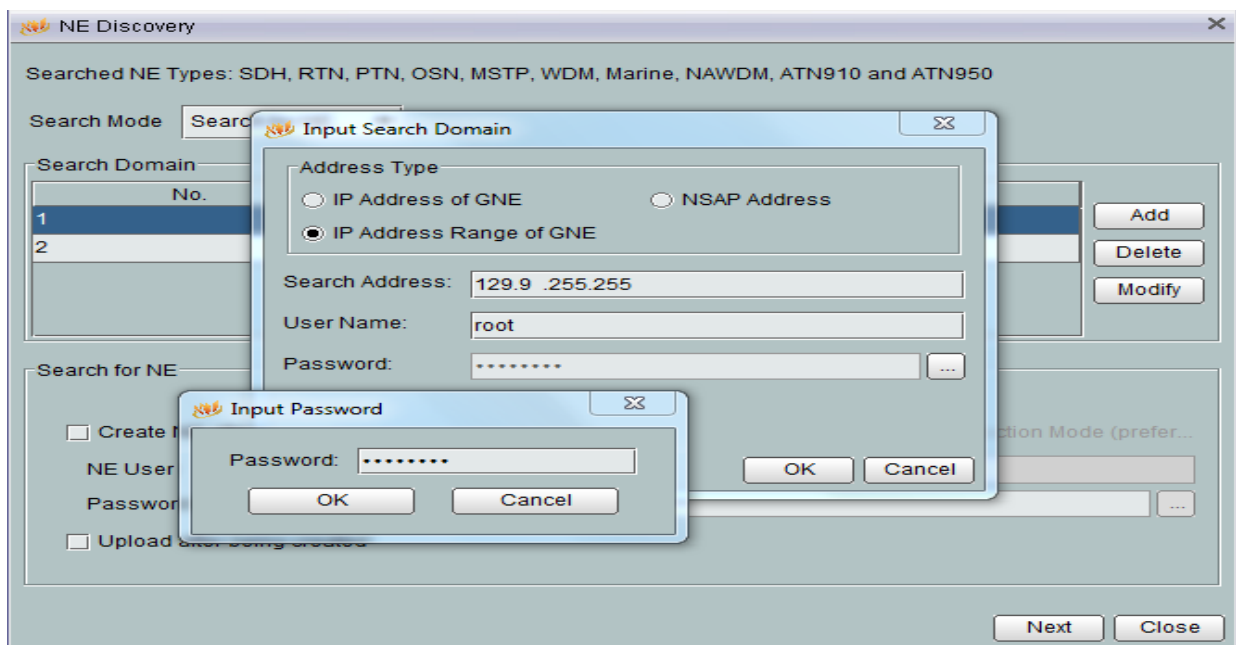


Figure IV.7. Fenêtre qui permet de recherche les équipements

3. On clique sur « **next** » pour lancer la recherche, et une fois que la recherche est terminée on sélectionne l'équipement trouvé, on clique sur « **create** » et on insère le user name « **root** » et le mot de passe « **password** ». Résultat création de l'équipement dans la base de données U2000.

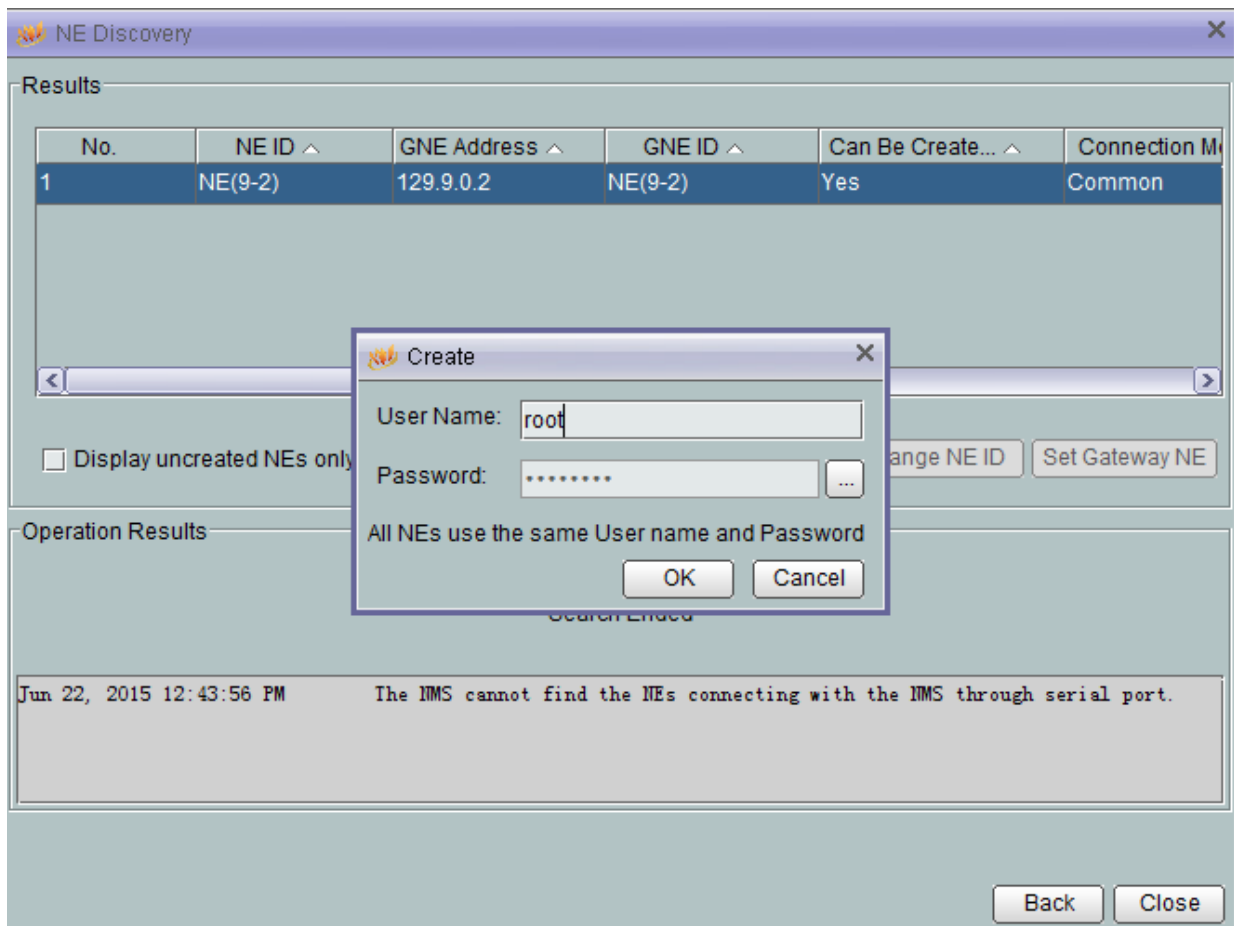


Figure IV.8. Processus qui permet de sauvegarder l'équipement trouvé

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

1. Dans la fenêtre « **NE information list** » on sélectionne l'équipement puis on clique sur « **configuration** ».
2. La fenêtre ci-dessous apparaît, on choisit « **Manual Configuration** » puis on clique sur « **Next** » afin de procéder à la configuration initiale de l'équipement.

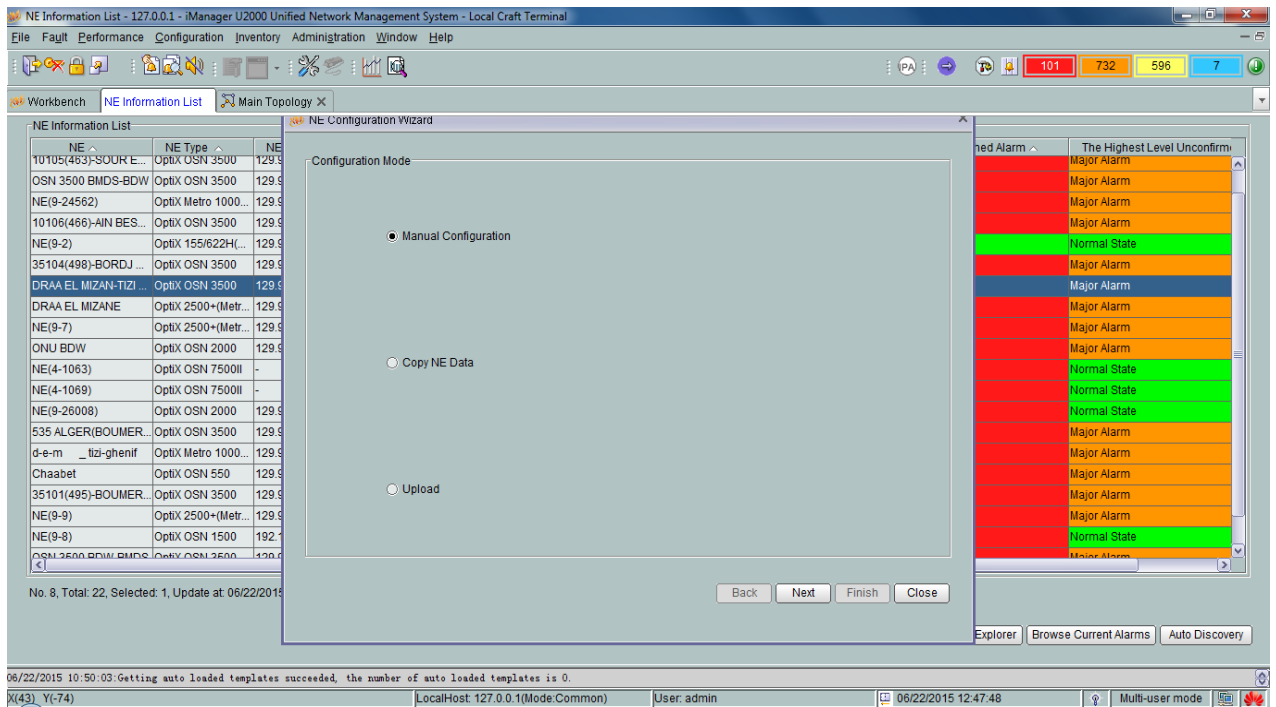


Figure IV.9. Les modes de configurations de l'équipement

3. Ensuite une boîte de dialogue est affichée. On règle les paramètres affichés (nom et type de l'élément de réseaux) puis on clique sur suivant.

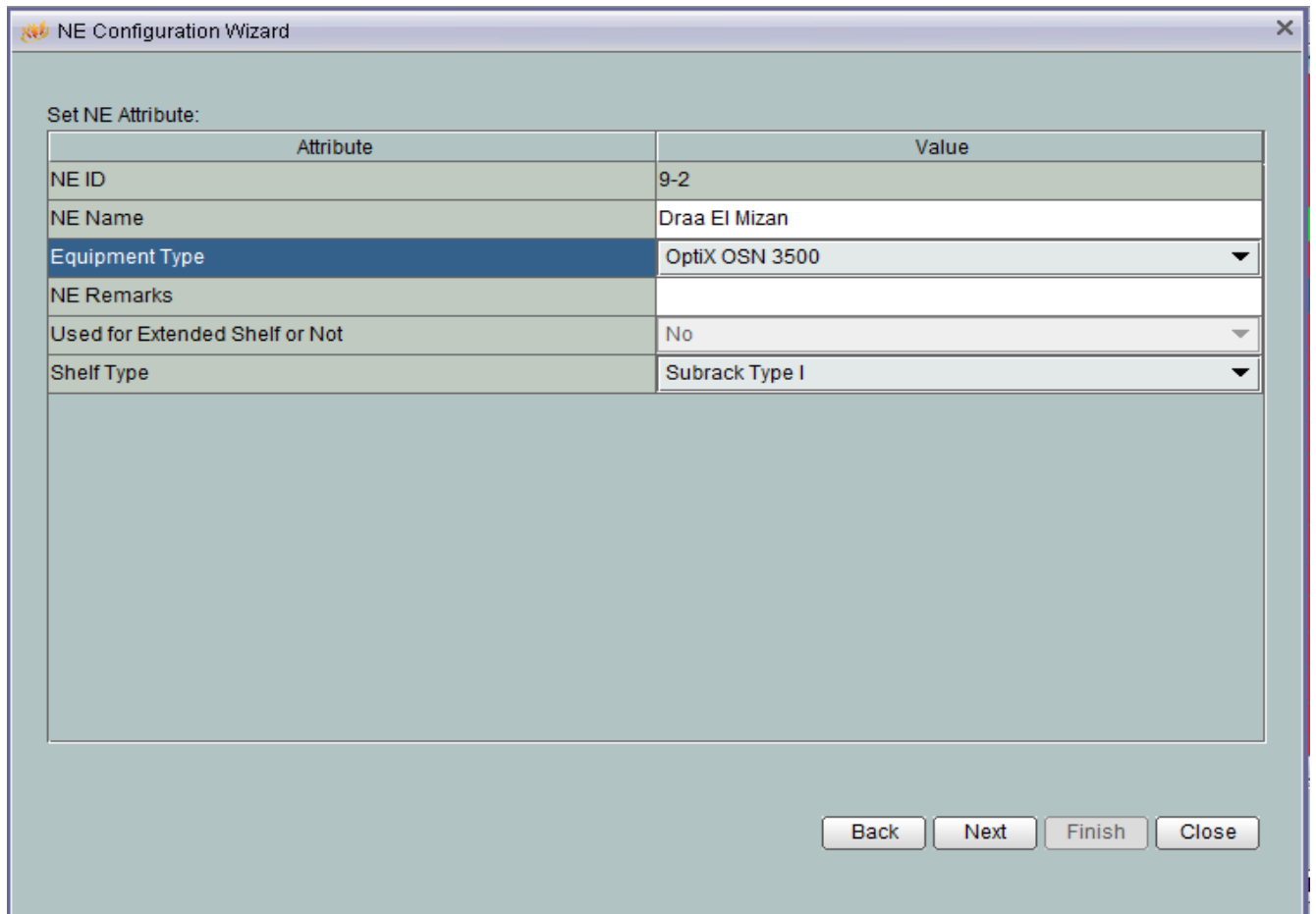


Figure IV.10. Fiche technique de l'équipement

4. Enfin on clique sur « **Query Physical** » pour charge les interfaces installées sur l'équipement et sur « «Next » pour finaliser la procédure.

D. Création de système logique

1. On sélectionne dans la fenêtre « NE information List» l'équipement à configurer puis on clique sur « configurer ».
2. On choisit dans le dossier « configurer » la tâche «Logical System ».
3. Une boîte de dialogue va apparaître, en insère par la suite les paramètres.

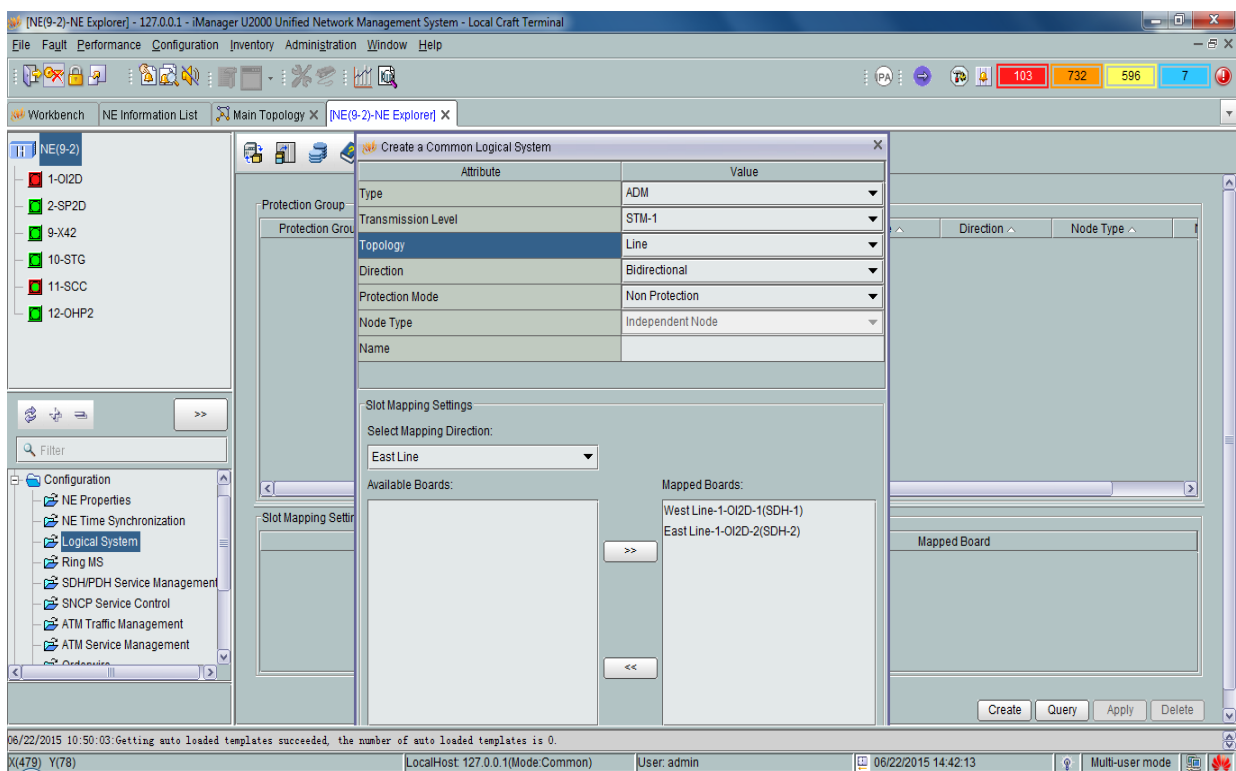


Figure IV.11. Création de system logique

E. Configuration des services SDH (VC-4 et E1)

1. Dans le dossier « Configuration », on clique sur « SDH/PDH Service Management » ensuite sur « Crée ».

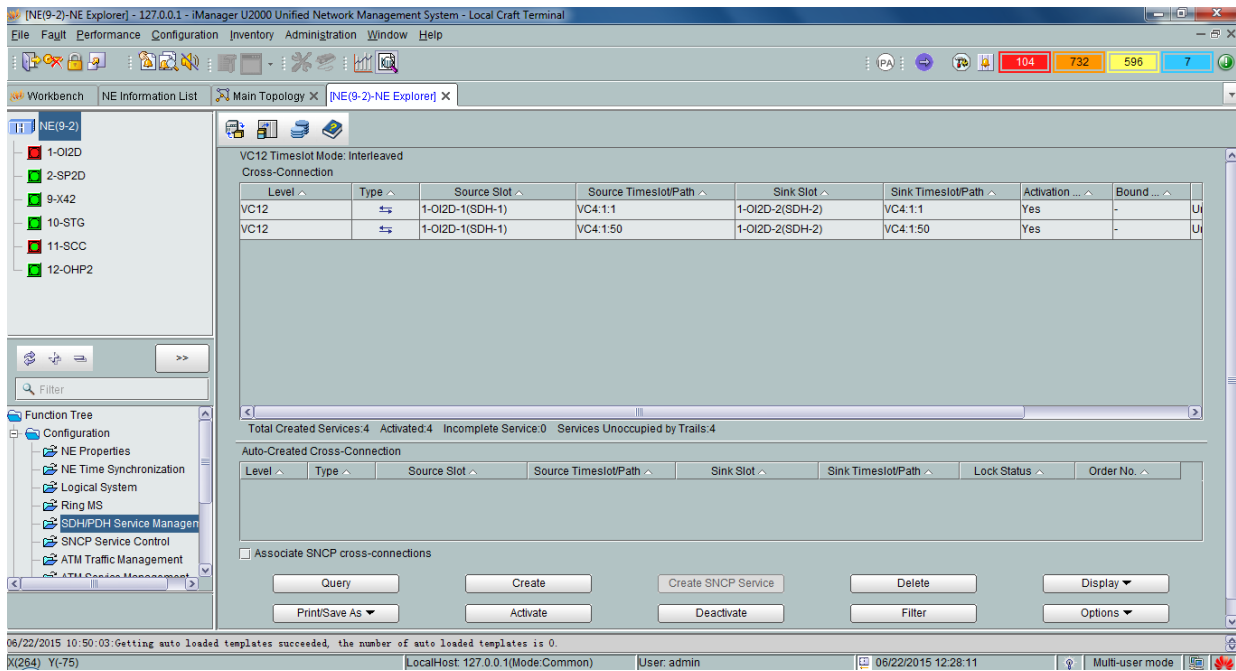


Figure IV.12. Création des services VC-12, VC-3 et VC-4

2. Ensuite on règle les paramètres apparut dans la nouvelle fenêtre selon le besoin.

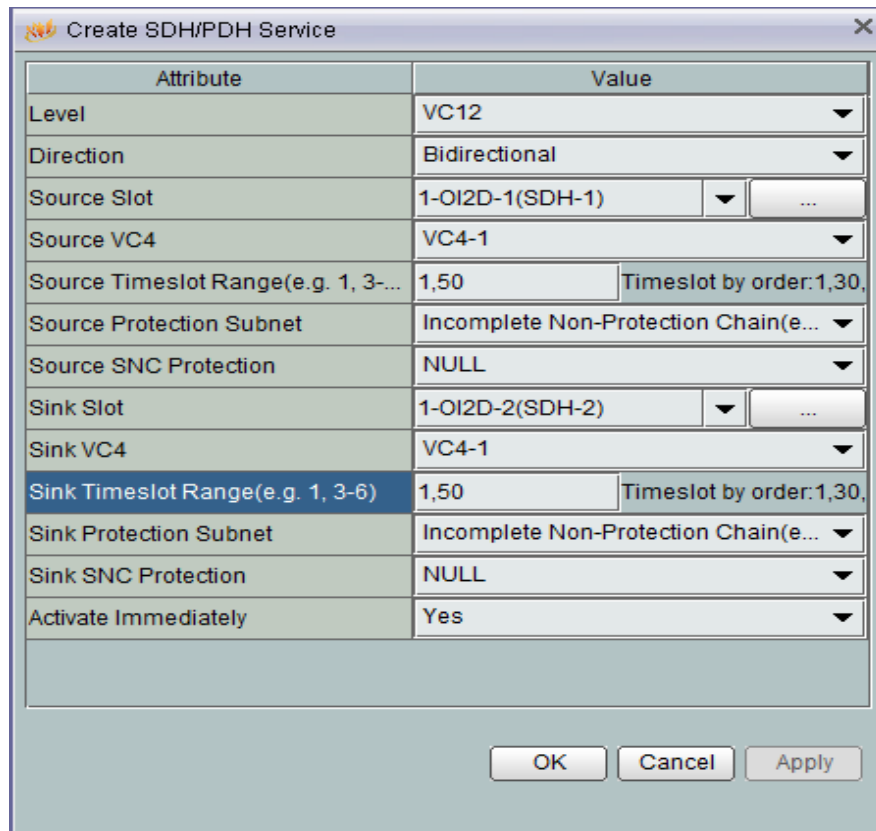


Figure IV.13. Configuration de service créé

IV.5. Test de liaison

IV. 5.1. Liaison optique

A. Appareil émission /réception

Il s'agit de l'un des appareils de teste des liaisons optiques utilisé au centre CA2 d'Algérie Telecom est « ACTERNA OPL-55 ».

Cet appareil est conçu pour tester tous les systèmes optiques (affaiblissement) dans des conditions optimales .Le fonctionnement sur batterie avec 4 piles type AA et la réception robuste du boitier antichoc et anti-éclaboussure garantissent une grande autonomie sur le terrain, même dans les conditions les plus extrêmes. Le fonctionnement sur secteur via un adaptateur AC séparé et l'interface de télécommande USB facilitent également l'utilisation de l'appareil au laboratoire ou en environnement de production.

➤ Principe de la mesure :

Le principe mesure de l'affaiblissement dans une fibre optique s'effectue à l'aide des appareils (Emetteur /Récepteur) .Ils consistent à envoyer un signal optique d'une longueur d'onde choisit (1550nm) Avec un affaiblissement de 0dB/Km, à l'autre extrémité(Récepteur) on récupère le signal émis avec une certaine atténuation qui sera affiché sur l'écran.

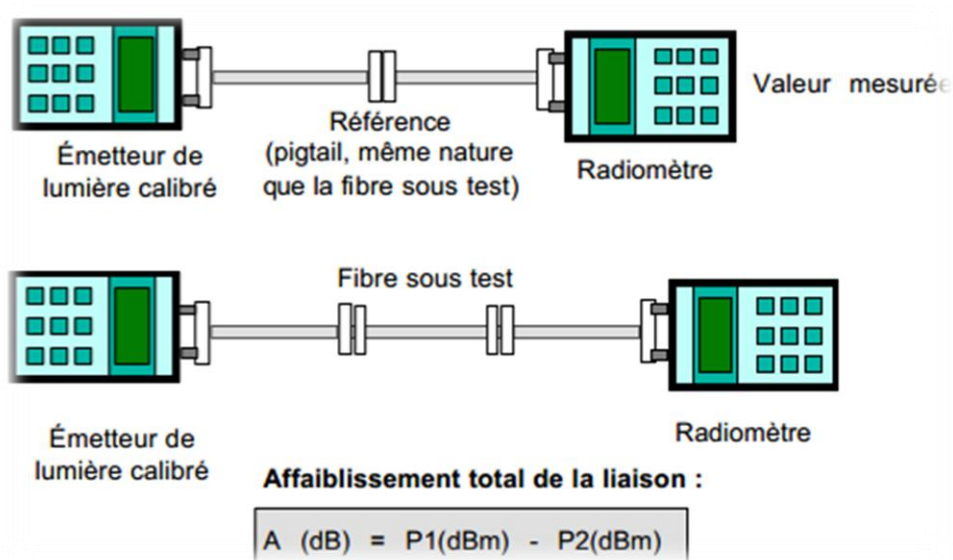


Figure IV.14. Principe de la mesure avec le radiomètre

B. Le Réflectomètre :

Le Réflectomètre est un appareil de mesure qui permet d'effectuer une analyse détaillée d'une liaison à fibre optique lors de la mise en service (mauvaise jonction, contrainte,...). Il permet de localiser avec précision les événements et défauts présents sur le lien et de calculer leur atténuation. De plus, l'appareil effectue toutes ses mesures depuis une seule extrémité ce qui permet de simplifier le test.

➤ Principe de la mesure :

Le réflectomètre optique temporel consiste à injecter une impulsion lumineuse à une extrémité de la fibre optique, à analyser et à observer au même endroit l'intensité optique qui parcourt la fibre dans le sens inverse de propagation de l'impulsion. Le signal détecté (puissance en fonction de la distance : $P_r = K \cdot P_o \cdot e^{-2 \cdot \alpha \cdot L}$) est de la forme exponentiel décroissant. Elle est due au phénomène de rétrodiffusion, avec superposition des pics dus aux réflexions sur les extrémités de la fibre ou discontinuité d'indice.

IV.5. 2. Liaison électrique :

L'appareil qui permet de mesurer le taux d'affaiblissement (erreur) d'une ligne électrique est << l'analyseur de transmission >> (PF4)

➤ Principe de la mesure :

Le PF4 est un appareil de teste du bon fonctionnement des liaisons électriques, son principe est basé sur la génération d'un signal électrique de débit allant de 2 Mbit/s à 140 Mbit/s. Par ailleurs, le teste se fait en effectuant un bouclage à la réception, ainsi on peut commencer le teste en envoyant un signal électrique sans erreurs ($E=0$) qu'on va récupérer à la réception avec un taux d'erreur qui peut être :

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

IV.6. Discussion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes étapes de mise en services d'une liaison optique à 2 Gbit/s Draa El Mizan/Tizi-Ouzou en utilisant la transmission SDH point à point au sein de centre d'Algérie Telecom CA2 de TIZIOUZOU.

Conclusion

CONCLUSION

L'application de la transmission de données sur les technologies SDH et WDM dans le réseau national aura un impact considérable sur tous les aspects des services offerts à la clientèle et permettra une satisfaction totale de la demande en bande passante des abonnés et des réseaux backbone haut-débit. Suite à une interruption de service, les réseaux en point à point reviennent à la normale en quelque milliseconde (50 ms) en cas de discontinuité du câble optique.

Le mode de transfert synchrone utilisé dans les systèmes SDH permet aux équipements ADM d'extraire le trafic dans la liaison à fibre optique, avec une combinaison réduite au minimum de circuits électroniques et d'applications logicielles.

L'introduction de la technologie WDM dans le réseau d'AT a permis de dépasser le débit limite de 10 Gbit/s imposé par la technologie SDH et l'installation du réseau backbone 80 Gbit/s tout en présentant une bonne compatibilité avec SDH installés et optimisant l'utilisation de la fibre.

Enfin ce mémoire m'a permis d'élargir mes connaissances dans le domaine de la transmission de données par fibre optique et d'acquérir une expérience dans le domaine pratique; mise en service des équipements de transmission SDH via fibre optique (HUAWEI) et la gestion de ces équipements en utilisant l'application U2000 de HUAWEI au niveau métropolitain qui permet une configuration aisée et riche en options des différents paramètres de sous-réseaux utilisant les équipements de HUAWEI à l'exemple des services SDH(VC-4, VC-12...), le type de protection ASP (SNCP, MSP,.....), et les sources de synchronisation permettant ainsi le transport des différents affluents (Fast-Ethernet, STM-1...) avec une grande souplesse durant l'approvisionnement des différents abonnés.

Bibliographie

[1] : Imane CHIALI, (2013) : Etude d'une transmission d'un signal modulé directement par une source optique laser à un débit de 10 Gbit/s, mémoire de fin d'études (Master), université de Témecen.

[2] : Arezki HAMITOUCHE et Hassina LAHLOUH (2010) : multiplexage SDH et dimensionnement des réseaux DWDM, Mémoire de fin d'études (ingénieur).

[3] : Nacer BOUBRIK et all, (2009) : Etude et application de la transmission SDH via fibre optique, Mémoire de fin d'études (ingénieur).

[4]: ZTE Corporation, (2013): SDH Product Operation and Maintenance Training, documentation Algérie Telecom.

[5] : Techno Dis, (2012) : Hierarchie Numerique Synchronne, documentation Algérie Telecom.

[6] : Institut National De La Poste Et Des Technologies de l'information et de communication, (2011) : Transmission Sur Fibre Optique.

[7] : Jean-Pierre ARNAUD (2003), RÉSEAUX ET TÉLÉCOMS, Edition Dunod.

[8] : Bounkhala Mostéfa (2008), Transmission des données par voie optique, Mémoire de fin d'études (ingénieur).

[9] : <http://www.commentcamarche.net/contents/1131-transmission-de-donnees-les-modes-de-transmission>

[10] : Gérard-Michel Cochard, Aspects avancés des réseaux

[11] : Ivain KESTELOOT, Stéphane RZETELNY, Nouvelles Technologies Réseaux SDH (Synchronous Digital Hierarchy)

[12] : <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-automatique-th13/telecommunications-optiques-42454210/systemes-de-transmission-sur-fibre-optique-te7115/>, date de consultation 2015