

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

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DU GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études De MASTER ACADEMIQUE

Domaine: Sciences et Technologies

Filière: Génie électrique

Spécialité: Réseaux et Télécommunication

Présenté par

Ouahdi Louiza

Hachouf Safia

Encadré et Proposé par :

M^{elle}.SLIMANI.S

Thème

Transmission de Données par voie optique

Membre de jurée :

M^{er}MOHIA.Y *Président.*

M^{elle} SLIMANI.S *Promotrice.*

M^{er}IDJERI. *Examineur.*

Promotion: 2014/2015

Remerciement

Nous tenons à remercier le bon dieu de nous avoir accordé la force et le courage de mener a terme ce mémoire.

Nos vifs remerciements vont à notre promotrice Melle. SLIMANI .Samia qui nous a encadré en nous prodiguant des conseils qui nous ont aidé à étoffer ce travail.

Nous remercions, sincèrement, Mr. BLFOUDIL. Slimane ingénieur a Algérie Télécom pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour sa patience et surtout pour sa confiance et pour toutes les commodités et aisances qu'il nous a apportées durant notre étude.

Nous exprimons notre gratitude et profond respect à notre enseignant Mr. MOHIA.Y

Nos remerciements et gratitudes s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Sans omettre bien sur de remercier profondément à tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation du présent travail.

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects

A mes chères Parents

Grace a leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.

Aucune dédicace ne pourra exprimer mon respect, ma considération, et mes profonds sentiments envers eux.

Je prie le bon dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.

A ma Sœur, mes Frères et mon adorable nièce Khadîdja

A toute ma famille paternelle et maternelle

Mes grands parents, Tantes, Oncles, Cousins et Cousines

Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.

A tous mes Enseignants

Leur générosité et leur soutien m'obligent de leurs témoigner mes profonds respect.

A ma chère Binôme Louiza

A mes camarades, mes chères ami(e)s

Karima et ces filles, Amine.h, Yacine.c, Malik.b, Slimane.d, Kamel.h, Yacine.m, Mounir, Lyes.d, Sofiane.l, Jugurtha.a, kahina.h, Amel.h,

*Nesrine.o, Hayet.k, Dalila.t, Lamia.t, Djamila.m, Mouh.t
khaled.m,.....a tous mes ami(e)s que je n'ai pas cités.*

*Je ne peux trouver les mots justes et s'insères pour vous exprimer
Mon affectation et mes pensées, vous êtes pour moi frères, sœurs et
ami(e)s sur qui je peux compter.*

Safia..

Dédicaces :

Je dédie ce travail à mes très chers parents, pour leur soutien et tous les efforts qu'on m'a donnés le long de mon parcours et je leur souhaite bonne santé et longue vie.

Je dédie ce travail aussi à mon fiancé D.Slimane , à mes très chers sœurs : Sissi, Sonia, et Katia et à mon frère kokou.

A mon regretté grand père que dieu puisse l'accueillir dans son vaste paradis.

A ma chère Binôme Safia

À mes très chers ami(e)s : Malik, Karima, Lyes, Yacine, Amine,djamila, Kamel

A tous les enseignants qui ont fait leurs possibles pour nous donner le maximum d'informations concernant notre étude.

Et en fin à tous ceux qui m'ont aidé durant ma vie universitaire

Louiza

Glossaire

ADM	Add Drop Multiplexer (Multiplexeur a insertion extraction)
AOSC	Amplificateur Optique Semi-conducteur
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group
ATM	Asynchronous Transfer Mode (mode de transfert asynchrone)
BELLCORE	BELL Commutation Research
C-n	Container d'ordre n
CCITT	Comité Consultatif International du Téléphone et Télégraphe
DEL	Diode Emitting Light (diode electroluminescent)
DL	Diode Laser
DXC	Digital Cross Connect
E1	European Digital Signal 1 (appellation du tronc numérique du réseau public en Europe)
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplification
EF	Ethernet Fast
FDM	Frequency Divisions Multiplexing
FO	Fibre Optique
GPS	General Packet Service
HO-VC	High Order- Virtual Container
IP	Internet Protocol
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LP	Linéairement Polarisé
LO	Low Order

Glossaire

LO-VC	Low Order- Virtual Containe
MIE	Multiplexeur d'Insertion/ Extraction
MRF	Multiplexage a Répartition en Fréquence
MRT	Multiplexage a Répartition dans le Temps
MSOH	Multiplex Section Over Head
MSP	Multiplex Section Protection
MS-SPRING	Multiplex Section Shared Protection
MTS	Multiplex Terminal Simplify
NE	Network Element
ON	Ouverture Numérique
OSI	Open System Interconnection
PCM	Pluse Code Modulation
PDA	Photodiode Avalanche
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PIN	Positive Intrinsic Negative
POH	Path Over Head
PTR	Pointeur
RSOH	Regenerator Section Over Head
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SOH	Section Over Head
SONET	Synchronous Optical Network
SNCP	Sub Network Connection Protection
SRC	Secondry Reference Clock
STM	Synchronous Transport Module

Glossaire

STS	S ynchronous T ransfer S ignal
TDM	T ime D ivision M ultiplexing
TU	T ributary U nit
TUG	T ributary U nit G roup
VC	V irtual C ontainer
VC-m	S urdébit du c onduit i nferieur
VC-n	S urdébit du c onduit s upérieur
WDM	W avelength D ivision M ultiplexing

Liste des Figures

Chapitre I : Généralité sur la fibre optique

Figure I.1 : Profil d'une fibre optique.....	4
Figure I.2 : La réflexion totale interne.....	5
Figure I.3 : Guidage du signal dans la fibre.....	6
Figure I.4 : L'atténuation spectrale d'une fibre en silice.....	8
Figure I.5 : Effets de la dispersion modale et chromatique.....	10
Figure I.6 : la fibre multimode à saut d'indice.....	12
Figure I.7 : La fibre multimode à gradient d'indice.....	13
Figure I.8 : La fibre monomode.....	14

Chapitre II : Liaison de transmission par fibre optique

Figure II.1 : Synoptique d'une liaison optique	18
Figure II.2 : Structure d'un émetteur optique.....	19
Figure II.3 : Caractéristiques spectrales de DEL.....	20
Figure II.4 : Caractéristiques spectrales de DL.....	21

Figure II.5 : Comparaison de la lumière émise par émission spontanée (haut) et par émission stimulée (bas).....	21
Figure II.6 : Digramme de rayonnement.....	22
Figure II.7 : Structure bloc d'un récepteur optique.....	24
Figure II.8 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe.....	25
Figure II.10 : Canal de transmission pour la fibre monomode.....	27
Figure II.11 : Configuration de base d'un amplificateur AOSC.....	32
Figure II.12 : Configuration d'un amplificateur AFDE	33

Chapitre III : La hiérarchie SDH

Figure III.1 : L'organisation de la trame de base STM-1.....	38
Figure III.2 : Représentation des octets du RSOH.....	39
Figure III.3 : Représentation des octets du MSOH.....	39
Figure III.4 : Le surdébit du conduit supérieur.....	41
Figure III.5 : Le surdébit du conduit inférieur.....	42
Figure III.6 : Les niveaux du multiplexage SDH.....	43
Figure III.8 : Construction d'un Conteneur.....	44
Figure III.9 : Construction d'un conteneur Virtuel.....	44
Figure III.11 : Construction de Tributary Unit.....	45
Figure III.12 : Construction d'une TUG-2 a partir de 3 TU-12.....	46
Figure III.13 : Formation d'un signal STM-1 à partir d'affluents E1	46
Figure III.14 : Constitution de la Tributary Unit TU.....	47

Figure III.15 : TUG-2 construction par multiplexage de 3 TU-12.....	48
Figure III.16 : VC-3 construit a partir de 7 TUG-2.....	49
Figure III.17 : L'unité administrative AU-3	49
Figure III.18 : Groupe d'Unité Administrative AUG	50
Figure III.19 : La trame STM-1.....	50
Figure III.20 : Structure du multiplexage synchrone pour l'STM-n.....	51
Figure III.21: Multiplexeur d'insertion/Extraire(MIE).....	52
Figure III.22: Multiplexeur Terminal Simplifié.....	53
Figure III.23: Anneaux unidirectionnel.....	54
Figure III.24: Anneaux bidirectionnel (2fibres)	54
Figure III.25: Distribution de l'horloge.....	56

Chapitre IV : Application de transmission sur SDH

Figure IV.1 : Accès à l'interface Server.....	60
Figure IV.2 : Etape d'authentification au server.....	60
Figure IV.3 : Accès au server.....	61
Figure IV.4 : Accès à l'interface client.....	61
Figure IV.5 : Authentification à l'interface client.....	62
Figure IV.6 : Recherche des éléments du réseau.....	62
Figure IV.7 : Les éléments du réseau.....	63

Figure IV.8 : Création des NE.....	64
Figure IV.9 : Modes de configuration.....	64
Figure IV.10 : Les différents modes de configuration de l'équipement.....	65
Figure IV.11 : Fenêtre de configuration de différentes cartes.....	66
Figure IV.12 : Création d'un trafic.....	66
Figure IV.13 : Fenêtre qui nous permet de gérer la trame STM-1.....	67
Figure IV.14 : Activation et désactivation des ports externe.....	68
Figure IV.15 : Mesure de puissance du signal optique.....	69
Figure IV.16 : Châssis d'un équipement SDH.....	70

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralité sur la fibre optique

Figure I.9 : Comparaison entre la fibre monomode et multimode.....	14
---	----

Chapitre II : Liaison de transmission par fibre optique

Figure II.9 : Comparaison entre PIN/APD.....	27
---	----

Chapitre III : La hiérarchie SDH

Figure III.7 : Répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONE.....43

Figure III.10 : Taille de Conteneurs Virtuel (VC).....45

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur la fibre optique	
I. Introduction	3
II. Fonctionnement et caractéristique physique de la fibre optique	5
II.1 la réflexion totale interne.....	5
II.2 le guidage de signal optique dans une fibre	5
II.3 caractérisation de la fibre.....	7
a) atténuation.....	7
b) dispersion.....	8
✓ Dispersion chromatique	8
✓ Dispersion modale.....	8
✓ Effet de la dispersion chromatique et modale	9
c) bande passante.....	10
✓ Bande modale.....	10
✓ Bande chromatique.....	11
III. Les différent types de fibre optique	11
a) fibre multimode.....	11
✓ Fibre multimode a saut d'indice.....	11
✓ Fibre multimode a gradient d'indice.....	12
b) fibre monomode.....	12
III.1 Fibre en télécom.....	13
a) comparaison entre différente fibre optique.....	13
b) les applications de la fibre monomode.....	14
IV. Avantages et inconvénient de fibre optique	14
V. Conclusion	16

Chapitre II : Liaison de transmission par fibre optique

I. Introduction	17
II. Systèmes de transmission	17
II.1 transmission Analogique.....	17
II.1.1 Fiabilité de la transmission analogique.....	17
II.2 Transmission Numérique.....	17
II.2.1 Fiabilité de la transmission numérique.....	18
II.2.2 Avantage de la transmission numerique.....	18
III. la liaison de transmission optique	18
III.1 module d'émission	19
III.1.1 catégories des émetteurs.....	19
a) les diodes électroluminescentes DEL.....	19
b) les diodes laser DL.....	21
c) la différence DEL/DL.....	21
III.1.2 caractéristiques générale	22
III.1.3 la modulation.....	23
a) modulation directe.....	24
b) modulation externe.....	24
III.2 module de réception.....	24
III.2.1 photodétecteur.....	26
III.2.2 Catégories de photodiodes PIN, APD.....	26
a) Photodiode PIN.....	26
b) Photodiode APD.....	27
c) comparaison PIN, APD	27
III.3 canal de transmission.....	28
III.3.1 fibre optique.....	28
III.3.2 caractéristique de transmission	28
III.4 raccordement des fibres optiques.....	29
III.4.1 type de raccordement.....	29
a) les raccordements fixes	29
b) les raccordements semi fixes.....	30
c) les raccordements démontables.....	30

III.5 Répéteur ou régénérateur de signal	31
IV. Technique de Multiplexage	31
IV.1 Multiplexage Fréquentiel FDM.....	31
IV.2 Multiplexage Temporel TDM.....	31
V. Systèmes de transmission	32
V.1 Transmission Asynchrone.....	32
V.2 Transmission Synchrone.....	32
VI. Composants Optique	32
VI.1 Amplification optique.....	32
VI.2 Généralités sur l'amplification optique.....	33
VI.3 Les amplificateurs à semi-conducteur (AOSC).....	33
VI.4 Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA)	34
VI.5 Comparaison des amplificateurs.....	35
VI.6 Les atténuateurs, isolateurs et les compensateurs de dispersion.....	35
VI.7 Les coupleurs.....	35
VI.8 Les filtres optiques.....	36
VII. Conclusion	36

Chapitre III : La Hiérarchie SDH

I. Introduction	37
II. La définition de la SDH	37
III. Principe de fonctionnement de la SDH	38
III.1 Constitution des trames SDH	38
III.2 Structure de la trame de base STM-1	38
a. RSOH (Regeneration Section Over Head)	39
b. MSOH (Multiplex Section Over Head)	40
c. Le pointeur PTR	41
d. POH (Path Over Head).....	41

d.1 Le surdébit du conduit supérieur (VC-n)	42
d.2 Le surdébit du conduit inférieur (VC-m)	42
III.3 Multiplexage SDH	43
III.3.1 Les entités traitées par le réseau SDH	44
a. la notion de Conteneur(C-n)	44
b. Conteneur Virtuel	45
c. Tributary Unit (TU)	46
d. Groupe d'Unité d'Affluent TUG (Tributary Unit Group).....	46
e. Les Unités Administrative AU et AUG.....	46
III.3.2 Exemple de constitution de la trame (STM-1) à partir d'un E1(C-12).....	47
a. Constitution du Conteneur C-12	47
b. Constitution du Conteneur Virtuel VC-12	47
c. Constitution de la tributary Unit TU-12.....	47
d. Constitution de la Tributary Unit Group TUG-2.....	49
e. Constitution de Conteneur Virtuel VC-3(7×TUG-2)	49
f. L'unité administrative AU-3	49
g. Le Groupe d'Unité Administrative AUG	50
h. La trame STM-1	50
III.4 Formation de la trame STM-n.....	51
IV .Les multiplexeurs SDH.....	52
a) Multiplexeur d'Insertion /Extraire (MIE)	52
b) Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS)	53
c) Les Brasseurs (DXC : Digital Cross Connect)	53
d) Les régénérateurs	54
IV.1 Topologie des Réseaux SDH	54
a. Architecture en anneau monofibre.....	54
b. Architecture en anneau bidirectionnel.....	55
IV.2 Protection du réseau SDH.....	56
1. La protection de conduit (SNCP).....	56
2. La protection de la section.....	56
3. La protection MSP	56

4. La protection de la section de multiplexage partagé (MS-SPRING).....	56
IV.4 Synchronisation du réseau SDH.....	56
IV.5 Indication de synchronisation	57
V. Conclusion.....	57

Chapitre IV : Application de la transmission SDH

I. Introduction.....	59
II. Les différentes étapes de mise en service.....	59
II.1 Pose de la fibre optique.....	59
II.2 Configuration.....	59
II.2.1 Connexion a l’interface server/client.....	59
a. lancer le T2000 (server).....	59
b. lancer l’interface client.....	61
II.2.2 Recherche des éléments de réseau.....	62
II.2.2.1 Affichage des éléments de réseau.....	63
III. Configuration de l’équipement.....	63
a. Create.....	63
b. modes de configuration.....	64
1. Manual configuration.....	64
2. Copy Data.....	65
3. Upload.....	65
III.1 Configuration du SDH.....	65
III.1.1 Création d’un trafic sur une liaison.....	66
III.1.2 Trafic Ethernet.....	67
III.1.3 Mesure de la puissance du signal sur le support.....	68
Schéma général du châssis d’un équipement SDH	70
IV. Conclusion.....	70
Conclusion.....	71

Bibliographie

Introduction Générale

Introduction

Les télécommunications sont devenues un outil stratégique pour les entreprises intéressent désormais toute organisation de services. Il s'agit donc de monter en puissance d'actuelles infrastructures en fibre optique. Conçue pour les hauts débits, hautement normalisée au plan international, ainsi les opérateurs ont sans cesse du s'adapter à un trafic téléphonique toujours plus important. Cette croissance de la demande a été la source de nombreuses avancées technologiques permettant de répondre aux besoins de la manière la plus économique possible.

A partir des années 60, les réseaux analogiques à multiplexage fréquentiel n'ont cessés de progresser. En effet, cette évolution a donnée naissance à de nouveaux réseaux à modulation PCM (Pluse Code Modulation), permettant ainsi l'utilisation multiple d'une même ligne par multiplexage numérique temporel.

Avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter plusieurs canaux téléphoniques sur un même support, la hiérarchie numérique plysiochrone PDH (Plysiochonous Digital Hiérarchies) est apparu, cependant cette hiérarchie était peu flexible et c'est retrouvé incapable de satisfaire les exigences croissantes des réseaux de transmissions modernes se qui rend très difficile l'interopérabilité des équipements entre deux hiérarchies différentes ,de plus le multiplexage bite à bite de la trame numérique plésiochrone ne permet pas l'accès aux niveaux inférieurs sans démultiplexage complet de toute la trame.

C'est vers la fin des années 80, qu'a été introduite la hiérarchie numérique synchrone SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Cette technologie conduit a l'heure actuelle à la mise en place de réseaux à très grand capacité dans beaucoup de pays. La technique SDH est un élément clé de l'information. Elle offre aujourd'hui des solutions de transport totalement maitrisées, sécurisées et compétitives.

Cette technique de transmission optimise fortement l'utilisation des fibres optiques et réduit sensiblement le cout de l'unité de transport en termes d'équipements, cette technologie est surtout utilisée pour des réseaux d'opérateurs à très grand trafic.

L'utilisation des services multimédia a incité les entreprises à aller vers les réseaux de télécommunications optiques, c'est le cas d'ALGERIE TELECOM.

Le but de notre travail consiste à étudier et à mettre en application la technique de transmission SDH via fibre optique au sein de réseau d'Algérie Télécom.

Pour ce faire, nous avons répartie notre mémoire en quatre chapitres :

- Dans le premier nous avons présenté quelques généralités sur la fibre optique
- ensuite, le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique d'une liaison de transmission par fibre optique
- puis le troisième chapitre est basé sur l'étude théorique et technique de la technologie SDH
- Et en fin le dernier chapitre consiste à mettre en application les différentes étapes de la transmission SDH à l'aide de (logiciel T2000).

Chapitre I
Généralités sur la fibre
optique

I. Introduction

En télécommunications, la fibre optique est utilisée pour la transmission d'information, que ce soit des conversations téléphoniques, des images ou des données. Avant l'apparition de la fibre optique, tous les réseaux de communication étaient câblés avec des liaisons cuivre ou des câbles coaxiaux. Aujourd'hui, de plus en plus d'entreprises se tournent vers la fibre Optique.

I.1 Définition de la fibre optique

Une fibre optique est un fil de verre transparent très fin qui a la propriété de conduire la lumière et sert dans les transmissions terrestres et océaniques de données. Elle a un débit d'information nettement supérieure à celui des câbles coaxiaux et supporte un réseau <<large bande>>par lequel peuvent transiter aussi la télévision, le téléphone ou les données informatique [1].

Cette fibre qui est un guide d'onde et qui exploite les propriétés réfractrices de la lumière est habituellement constitué d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre à un indice de réfraction légèrement plus élevé (différence de quelque millième) que la gaine, d'où il peut confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi de multiples fois l'interface entre les deux matériaux (en raison de phénomène de réflexion totale interne).

L'ensemble est généralement recouvert d'une gaine plastique de protection.

Elle transporte l'information numérique avec un haut débit (1 paire de fibre véhicule l'équivalent de 50 000 lignes téléphoniques). L'information est codée en signaux lumineux. Cette fibre est constituée de silice ou de matière plastique, utilisée pour la construction de réseaux de communication modernes. Moins lourde, moins encombrante, mais plus chère que le câble coaxial, la fibre optique permet le transport d'un très grand nombre d'information (multimédia) à la vitesse de la lumière.

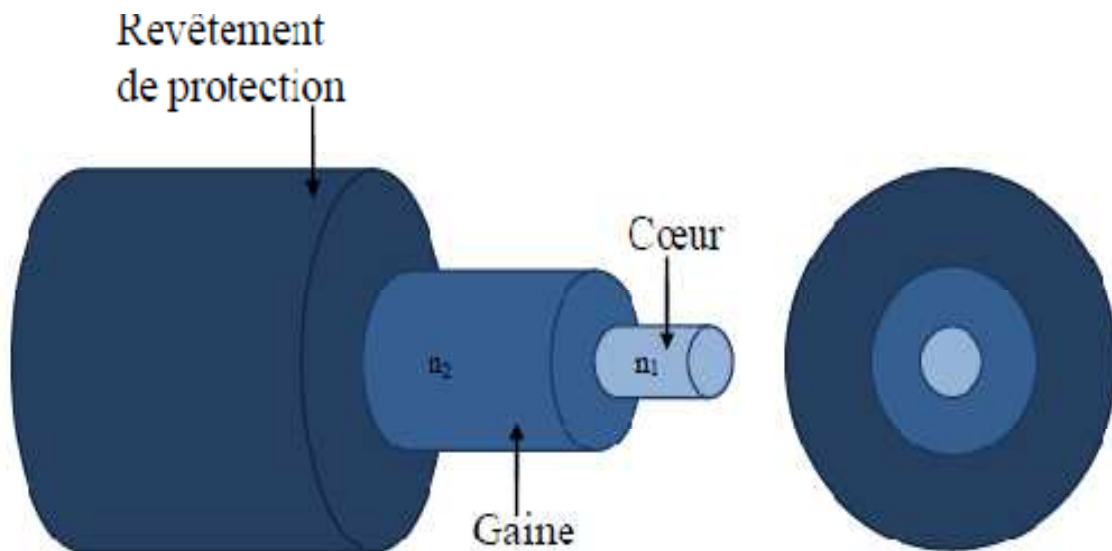


Figure I. 1: Profil d'une fibre optique

Deux éléments essentiels sont utilisés pour définir une fibre optique :

La différence d'indice normalisée, qui donne une mesure du saut d'indice entre le cœur et la gaine, et l'ouverture numérique. Cette ouverture numérique (ON) représente une mesure de la quantité maximum de lumière qu'un système optique peut accepter. Elle correspond au produit de l'indice de réfraction du milieu par le sinus de l'angle du rayon extrême.

II. Fonctionnement et caractéristique physique de la fibre optique

II.1 La réflexion totale interne

Le déplacement de l'onde lumineuse dans la fibre optique est conditionné par le principe de la réflexion totale interne. Ce principe repose sur deux phénomènes

- Un rayon lumineux est réfléchi lorsque les deux densités optiques des milieux traversés sont différentes. Lorsque l'angle d'incidence du rayon lumineux est plus grand que l'angle critique, la lumière est réfléchie en totalité et il n'y a aucune perte de lumière

Ces phénomènes sont reliés par une équation

$$\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

L'angle critique peut être calculé dès lors que l'on connaît les indices de réfraction des deux matériaux.

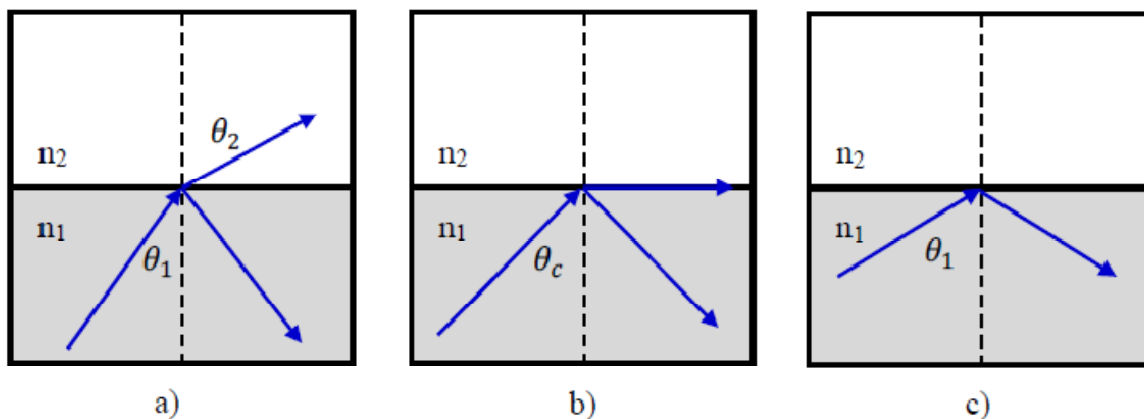


Figure I.2 : La réflexion totale interne.

- a- Réfraction d'un rayon lumineux pour $\theta_1 < \theta_c$, le rayon incident est aussi partiellement réfléchi dans le premier milieu
- b- Rayon critique lorsque $\theta_1 = \theta_c$
- c- Réflexion totale interne pour $\theta_1 > \theta_c$

II.2 Le guidage de signal optique dans une fibre

Dans une fibre optique standard, la différence d'indice entre le cœur et la gaine est souvent faible, de l'ordre de quelques 10^{-3} . On réalise alors l'approximation en guidage faible.

Lorsque :

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (2)$$

Avec Δ , différence relative d'indice.

Dans ce cadre, certaines modes dits dégénèrent possédant la même constante de propagation axiale. Ces champ modaux sont polarisés de manière rectiligne et sont appelés modes **LP** (linearly polarised ou en français linéairement polarisés).

Le guidage du signal optique est basé sur la loi de Descartes. La lumière se propage le long de la fibre par réflexions successives entre le cœur et la gaine (figure I.2). Cela n'est possible que si le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur a celui de cœur (une différence de quelques % est suffisante).

La seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle, par rapport à l'axe, inférieur à l'ouverture numérique. L'ouverture numérique (ON) représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptré cœur gaine de la fibre [1].

$$ON = \sin(\theta_{OL}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3)$$

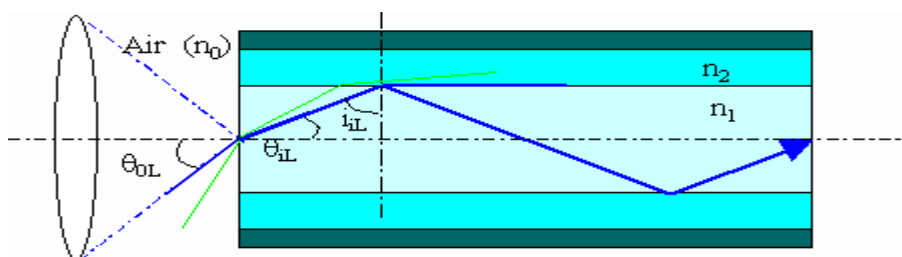


Figure I.3 : Guidage du signal dans la fibre.

Afin de faciliter l'injection de la lumière dans la fibre à l'entrée, on a intérêt à avoir l'angle limite θ_{OL} le plus grand possible. Ceci s'obtient pratiquement en choisissant des indices n_1 et n_2 très proches.

II.3 Caractérisation de la fibre

Les principales caractéristiques des fibres optiques sont l'atténuation, la dispersion chromatique, la dispersion modale, que nous allons présenter.

A. L'atténuation

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes.

- ❖ 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 micros courbures 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.

La (figure I.4) montre l'atténuation spectrale d'une fibre en silice, pour les télécommunications

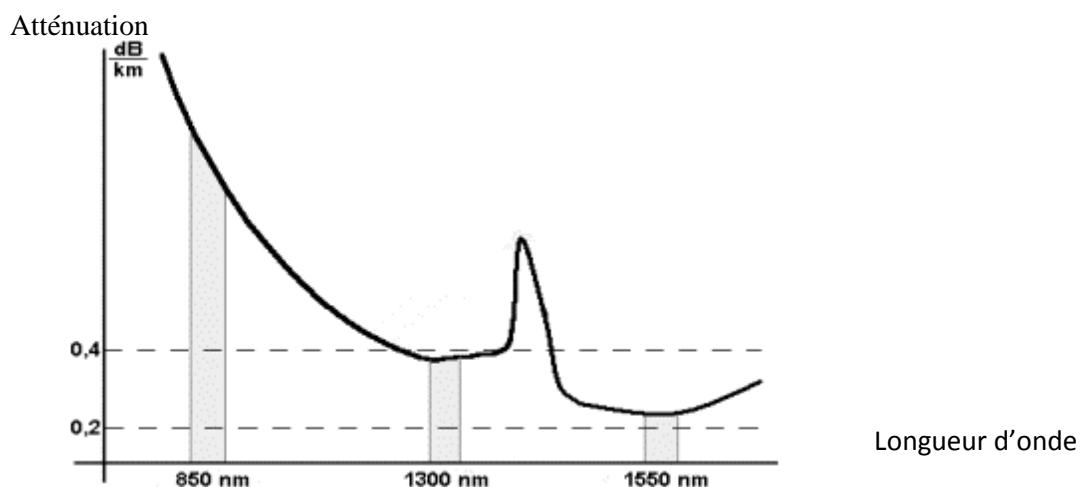


Figure I.4 : L'atténuation spectrale d'une fibre en silice.

L'atténuation minimale de 0,22 dB/km n'est pas très loin du minimum théorique pour la silice. La différence s'explique par le fait que l'on ne peut pas utiliser de la silice pure. On doit doper soit le cœur, soit la gaine et cela augmente les fluctuations de composition et donc les pertes par absorption [3].

B. 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.

Il existe deux types de dispersion

1. Dispersion chromatique (intramodale)

La dispersion chromatique est la combinaison de deux types de dispersion, la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde.

✓ La dispersion du matériau est causée par la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde.

En effet la dispersion du matériau est très petite à par rapport à la longueur d'onde d'environ 1300nm, cette dispersion existe dans toute les fibres optique qu'elle soit monomode ou multimode.

✓ La dispersion du guide d'onde est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le cœur et la gaine dépend de la longueur d'onde.

La dispersion totale est la somme des dispersions due au matériau et la dispersion du guide d'onde.

2. Dispersion modale (ou intermodale)

Dans une fibre optique multimode se propagent plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur.

L'ensemble des retards entre les différents rayons composant le signal lumineux détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique – électrique, cette distorsion est la Dispersion Modale.

✓ Effets de la dispersion modale et chromatique

Les effets de la dispersion modale et chromatique sur la propagation de l'impulsion optique le long de la fibre, illustrée par la figure et mettant en évidence, comment les différents comportements des composantes de l'impulsion déterminent la distorsion de celle-ci en réception [1].

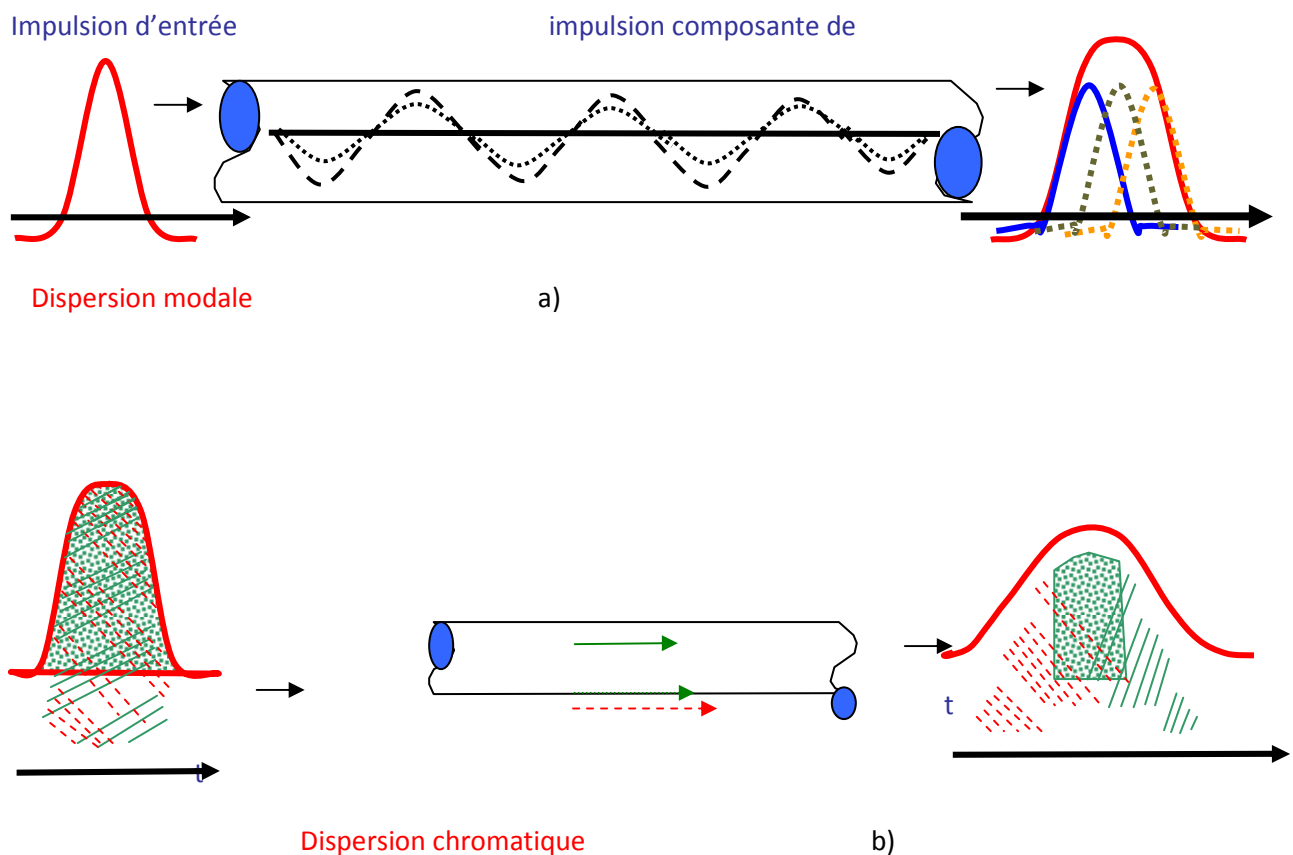


Figure I.5 : Effets de la dispersion modale et chromatique.

a) L'impulsion en réception est la somme des impulsions composantes qui se propagent en temps différents (parcours différents)

b) propagation avec des vitesses différentes, des différentes composantes du signal de longueurs d'ondes diverses.

Il existe aussi un autre type de dispersion :

C. Bande passante

La bande passante est un des paramètres les plus importants pour définir les propriétés de transmission d'une fibre optique.

La définition de la bande passante totale (B_T) qui dépend de l'effet conjonctif des deux phénomènes de dispersion modale et chromatique, permettra de stabiliser la fréquence maximale transmissible en ligne. La bande totale est définie par l'expression :

$$B_T = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Bm^2} + \frac{1}{Bc^2}}} \quad (4)$$

Avec

Bm : bande résultante de la dispersion modale

Bc : bande dérivante de la dispersion chromatique

Dans la fibre multimode la bande totale dépend uniquement de la bande modale.

Fibre multimode $B_T = Bm$

Dans la fibre monomode la bande totale est déterminée uniquement par la bande chromatique.

Fibre monomode $B_T = Bc$

- bande modale

La valeur de la bande modale normalement référencée à 1000 m de longueur notée Bm_0 est donnée par le constructeur. Pour calculer la bande modale (Bm) d'une liaison en fibre optique on doit appliquer la relation :

$$Bm = \frac{Bm_0}{L} \quad (5)$$

Bm_0 : Bande modale par unité de longueur.

L : Longueur de la liaison fibre optique.

γ : Facteur de concaténation des modes renseigne sur le degré de couplage.

- bande chromatique

La dispersion chromatique est d'autant plus importante que la largeur du spectre lumineux de la source est plus large. Pour cela on doit tenir compte dans le calcul de la bande chromatique B_c .

$$B_c = \frac{0.44 \cdot 10^{-6}}{\mu \Delta \lambda L} \quad (6)$$

Avec

$\Delta \lambda$: Largeur spectrale de la source à mi amplitude.

L : longueur de la liaison FO

μ : Coefficient de dispersion chromatique.

III. Les différents types de fibre optique

Il existe deux types de fibre monomode et multimode. Les fibres multimodes à leur tour, peuvent être divisées en

a- Fibre multimode

- 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 [4]. (Figure I.5)

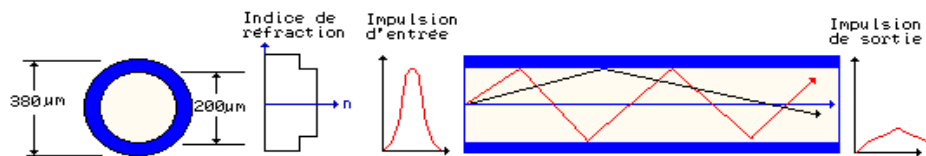


Figure I.6 : la fibre multimode à saut d'indice.

Les différents rayons empruntent des trajectoires différentes leurs chemins optiques et leurs temps de propagation sont différents. Il en résulte donc une dispersion intermodale.

Pour diminuer cet effet, le profil d'indice de cœur peut être modifié de telle sorte à créer un « gradient 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 (fig. III.2).

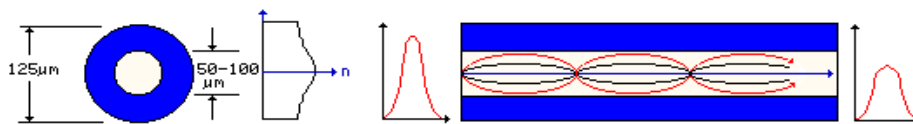


Figure I.7 : La fibre multimode à gradient d'indice.

b- Fibre monomode

Dans une fibre monomode, on obtient un seul mode grâce à la très faible dimension du cœur (diamètre de 10 μm et moins) [4]. Ainsi le chemin de la lumière est imposé, c'est le mode TEM₀₀. Le nombre de modes se propageant dans une fibre optique est donné par la relation suivante :

$$m = \frac{2d}{\lambda} \cdot ON$$

Avec : d : le diamètre du cœur de la fibre,

λ : la longueur d'onde de la lumière utilisée,

ON : l'ouverture numérique de la fibre.

En choisissant d suffisamment faible, il est possible d'avoir un seul mode de propagation ($m=1 \Leftrightarrow$ fibre monomode). Le chemin de propagation est ainsi unique et parallèle

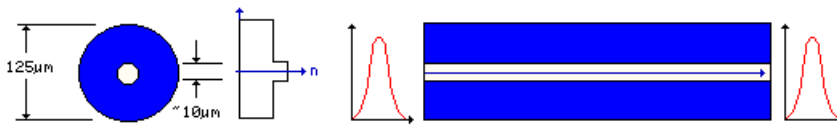


Figure I.8 : La fibre monomode.

À l'axe de la fibre (figure I.7). Théoriquement le signal injecté en entrée va atteindre la sortie sans aucune déformation. C'est ce type de fibre qui présente les plus grandes performances mais son coût est relativement élevé par rapport aux fibres multimodes.

La fibre monomode dont le cœur est si fin que le chemin de propagation des différents modes est pratiquement directe. La dispersion modale devient quasiment nulle [4].

La bande passante transmise est presque infinie (>10 GHz/Km).cette fibre est utilisée essentiellement pour les communications à grande distance.

Le petit diamètre du cœur (10um) nécessite une grande puissance d'émission, donc des diodes au laser qui sont relativement onéreuses.

III.1 Fibre en télécom

a. Comparaison entre différente fibre optique

<u>Fibre monomode</u>	<u>Fibre multimode</u>
Faible dispersion	Forte dispersion
Connexion délicate	Connexion facile
Faible atténuation	Forte atténuation
Hauts débits, longues distances	Réseaux locaux

Figure I.9 : Comparaison entre différente fibre optique

b. Les applications de la fibre monomode

Les applications de la fibre optique monomode sont nombreuses, les plus connues concernent :

- ❖ les télécommunications, pour la réalisation des réseaux haut débit à grande distance en technologie WDM, SDH, ATM.
- ❖ l'audiovisuel, pour la réalisation des réseaux câblés de télévision en association avec le câble coaxial utilisé pour le raccordement de l'abonné.
- ❖ La médecine, ou la fibre optique est notamment utilisée.
- ❖ En chirurgie, pour transporter le faisceau laser jusqu'au tissu à traiter.
- ❖ En endoscopie, pour éclairer l'intérieur du corps et transmettre les images jusqu'au médecin.
- ❖ L'éclairage (muséographique, architectural, espaces d'agrément publics ou domestiques).
- ❖ La décoration/illumination de piscines, bassins, fontaines,
- ❖ La signalétique d'orientation de l'information (panneaux de signalisation et enseignes).
- ❖ La signalisation routière (rond points, séparation de voies de circulation).

IV Avantages et inconvénients des fibres optiques**Les 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 globale d'un système sur fibre optique et de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

Les 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.

Il est indispensable de porter des verres de protection infrarouge pour travailler de près sur un dispositif en fonctionnement.

- ❖ 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'espacement, une erreur d'excentrement, une erreur d'alignement angulaire.

Évolution de la capacité de transmission

L'augmentation de la capacité de transmission des fibres optiques a été rendu possible grâce à des avancées technologiques marquantes telle que :

- ❖ La fibre monomode à faibles pertes.
- ❖ Les fibres à dispersion décalée.
- ❖ Les diodes lasers fonctionnant à 1.55 μ m.
- ❖ L'amplificateur à fibre dopée.
- ❖ La technique du multiplexage WDM.

V. Conclusion

En 2030, il est attendu que la vitesse de transmission soit plusieurs centaines de fois supérieure qu'aujourd'hui. Les prévisions les plus optimistes prévoient qu'il sera possible de transmettre des données à 1 TB/s vers les particuliers.

D'autres prétendent que 70% du réseau sera encore à 1 Gb/s. Quoi qu'il en soit, l'augmentation de la vitesse favorisera l'émergence du télétravail, un des facteurs favorisant le développement des télécommunications.

Chapitre II

Liaison de transmission par fibre optique

I. Introduction

Les transmissions par fibres optiques sont devenues techniques courantes et éprouvées dans le domaine des télécommunications. Dans les réseaux interurbains, régionaux et inter-centraux, l'utilisation de guides d'ondes optiques représente le mode de transmission le plus fiable et le plus économique lorsqu'il s'agit d'acheminer des débits élevés sur de grandes distances, mais aussi des nombres élevés de canaux.

La conception des systèmes de transmission par fibres optiques nécessite la connaissance des caractéristiques de fonctionnement des sous ensembles impliqués. Ainsi le concepteur doit prendre en considération des combinaisons variées de composants optoélectroniques et de techniques de modulation afin d'obtenir les performances souhaitées pour la liaison[5].

II. Systèmes de transmission

Un signal est la représentation physique de l'information qu'il faut transmettre de la source jusqu'au destinataire. L'information peuvent être

- Un signal vocal (téléphonie).
- Un signal de donnée de type texte, image, ect...

Donc pour transmettre ces informations d'un terminal a un autre a travers un réseau, il existe deux techniques

II.1 Transmission Analogique

On appel transmission analogique, la transmission d'un signal quelconque sur un support de transmission (câble, air, fibre, ect..).Ce type de transmission est appliqué dans les réseaux téléphoniques et de distribution de télévision, il consiste à l'acheminement simultané de plusieurs voies dans le même conduit physique afin d'optimiser l'utilisation des supports de transmissions. C'est le principe de multiplexage fréquentiel.

II.1.1 Fiabilité de la transmission analogique

Ce type de transmission reste sensible aux moindre parasites qui déforment le signal envoyé et n'assure pas une bonne qualité de transmission parfaite.

II.2 Transmission Numérique

On appel transmission numérique une transmission dont le signal électrique est sous forme binaire, c'est-à-dire une succession de zéro « 0 » et de « 1 » appelés « bits ».

II.2.1 Fiabilité de la transmission numérique

Le signal transmis peut être quelque peu déformé sans que l'information soit modifiée, par contre la non transmission d'un bit modifie l'information transmise.

II.2.2 avantages de la transmission numérique

Les avantages apportés par la transmission numérique par rapport à la transmission analogique sont

- Meilleure protection contre les perturbations.
- Amélioration de la qualité de transmission.
- Plus grande vitesse de transmission.

III. liaison de transmission optique

Une liaison de transmission optique simple se compose d'un émetteur, d'un multiplexeur/démultiplexeur, d'une ligne de transmission et d'un récepteur [6]. La ligne de transmission est composée par les fibres optiques et les amplificateurs optiques qui substituent les régénérateurs électriques (figure II.1)

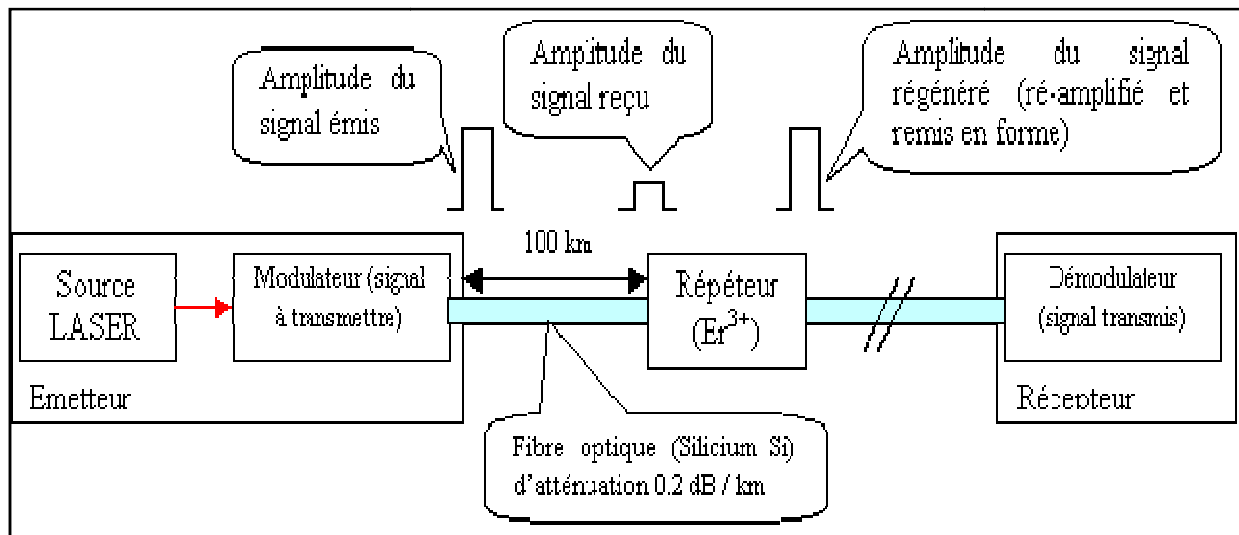


Figure II.1 : Synoptique d'une liaison optique.

III.1 le module d'émission

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des émetteurs optiques devant remplir certaines conditions

- Faible encombrement.
- Fonctionnement à température ambiante.
- Commande par circuits à semi-conducteurs.
- Capacité à moduler la lumière émise a haute fréquence.
- Spectre d'émission étroit.
- Puissance d'émission importante.
- Grande durée de vie.

Les composants d'émission de lumière qui satisfont le mieux a ces critères sont des composants à semi-conducteurs et se regroupent en deux catégories

les diodes électroluminescentes et les diodes laser. (Figure II.2)

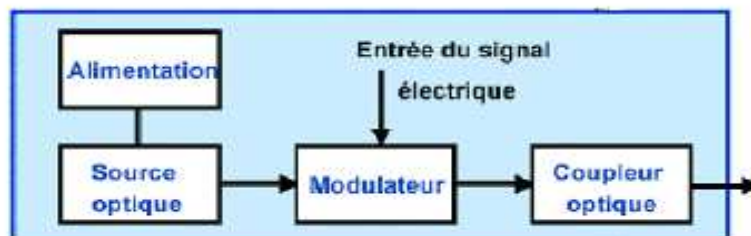


Figure II.2: Structure d'un émetteur optique.

III.1.1 Catégories des émetteurs

a. Les diodes électroluminescentes (DEL)

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 [3].

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.

- **Rendement quantique**

Le rendement quantique est défini comme étant le rapport entre le nombre de photon créés et le nombre d'électrons injectés.

$$\eta_q = \frac{\text{Nombre de photons créés}}{\text{Nombre d'électrons injectés}} \quad (1)$$

L'absence d'amplification limite ce rendement quantique .les recombinaisons (électron- trou) qui se produisent, ne sont pas toutes radiatives à cause des imperfections de la structure cristalline et de la présence d'impuretés.

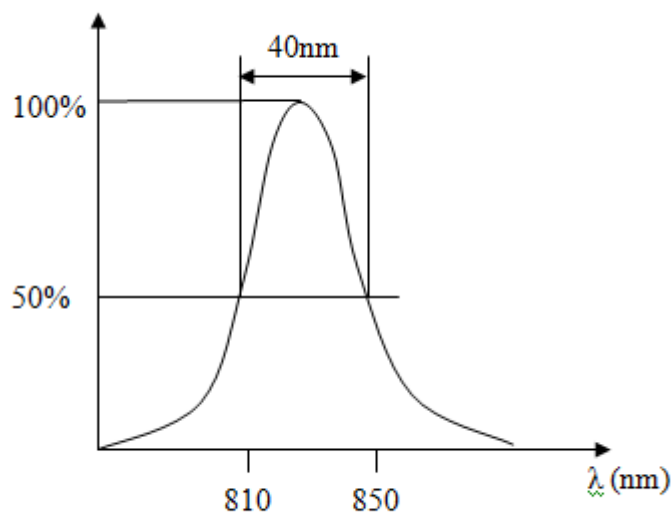


Figure II.3 : caractéristiques spectrales de DEL.

b. Les diodes laser (DL)

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques c'est porté sur les émetteurs à semi conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la relative facilité que l'on a à moduler directement la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi la diode laser est la source la mieux adapter pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre [7].

LASER est l'abréviation de (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), signifie (Amplification de Lumière par Emission Stimulée de Rayonnement). Contrairement à la diode électroluminescente ou l'émission est spontanée.

Les diodes laser se caractérisent par l'étroitesse de la longueur d'onde qu'elles émettent, le spectre émis se composant de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (Figure II.4)

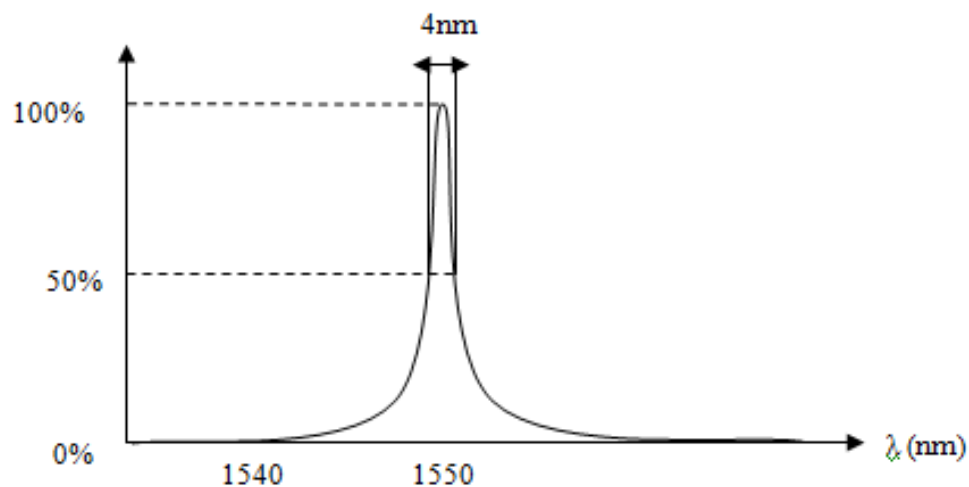


Figure II.4 : Caractéristique spectrale de DL.

c. La différence entre DEL / DL

Pour montrer la différence entre une diode électroluminescente et une diode laser, la (figure II.5)

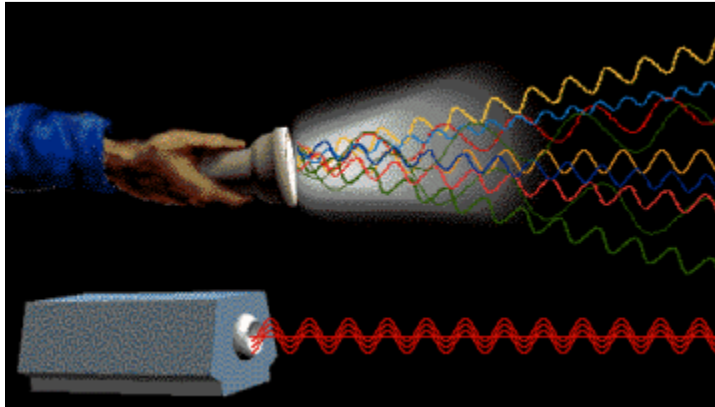


Figure II.5: Comparaison de la lumière émise par émission spontanée (haut) et par émission stimulée (bas).

III.1.2 Caractéristiques générale

Certains paramètres permettent de caractériser les composants d'émission, diodes électroluminescentes ou diodes lasers.

- **Puissance d'émission**

La puissance d'émission est exprimée pour une valeur donnée du courant. Alors qu'une LED aura une puissance d'émission variant de 10 à 600 μW pour un courant de 100mA, une diode aura une puissance variant de 1 à 6mW pour un courant égal au courant de seuil plus 30mA, soit environ 50mA [7].

- **Diagramme de rayonnement**

Le diagramme de rayonnement donne une image du flux lumineux tel qu'il se présente en sortie de composant.

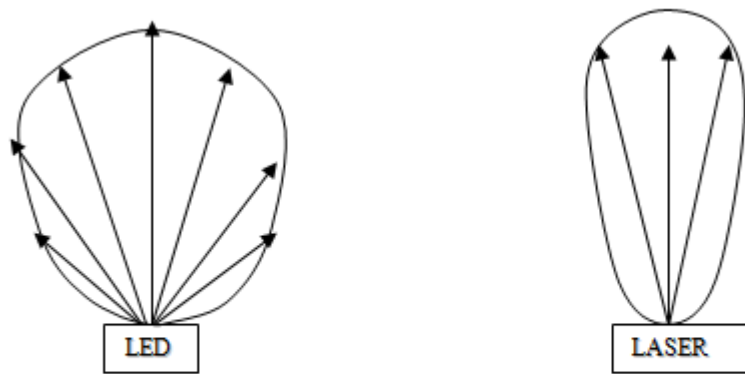


Figure II.6 : Diagramme de rayonnement.

De part sa nature, le diagramme de la diode laser sera plus étroit que celui de la LED.

L'angle formé entre les rayons extrêmes et l'axe permet de déterminer l'ouverture numérique du composant. Si cette ouverture numérique est supérieure à celle de la fibre une part le flux ne pourra être injecté. Un raisonnement analogue peut être mené en se basant sur les diamètres respectifs de la source et de la fibre.

- **Bande passante**

La rapidité à laquelle la source peut passer d'une absence d'émission à une émission maximale à l'état d'absence d'émission. Ces temps permettent de donner une indication sur la bande passante que ces sources pourront supporter.

- **Durée de vie**

La durée de vie d'une diode est de l'ordre de million d'heures. Mais pendant cette période, la structure de la diode subit des dégradations entraînant une perte de puissance d'émission. La diode sera considérée en fin de vie lorsque la puissance de son émission aura diminué de moitié, soit -3dB par rapport à la valeur d'origine

III.1.3 La modulation

Un modulateur, c'est un système capable de modifier les paramètres de la lumière (essentiellement amplitude et /ou phase mais cela pourrait être : polarisation, direction de propagation, fréquence, répartition de modes,.....etc.) en fonction d'un signal de commande.

Un modulateur est un système d'interaction. Les interactions entre phénomène physique de nature différente, mécanique (ou élastique), acoustique, magnétique, etc.

On peut moduler ces sources de deux manières différentes.

- **Modulation directe**

On agit sur le courant de jonction qui provoque l'effet laser. En première approximation, la puissance optique délivrée varie linéairement en fonction du courant.

Ce type de modulation provoque une modification dynamique du spectre due à la conversion amplitude-fréquence et du diagramme de rayonnement, avec des effets nuisibles aux grandes vitesses de modulation.

- **Modulation externe**

Le champ émis par la source n'est pas modulé et passe par un circuit optique spécial où l'on peut provoquer une modulation de phase ou d'amplitude. Les modulateurs d'amplitude ne présentent aucune propriété de linéarité mais introduisent beaucoup moins de conversion amplitude-fréquence.

Le signal modulé envoyé dans la fibre est donc nettement moins affecté par ce phénomène mais également moins puissant que dans le cas de la modulation directe.

Le principe physique utilisé dans ces modulateurs externes est soit la variation de l'indice de réfraction soit la variation de l'absorption (dispositifs à base de semi-conducteurs).

III.2 Le module de réception

Les systèmes de transmission par fibre optique nécessitent des récepteurs optiques devant remplir certaines conditions

- Une grande sensibilité à la longueur d'onde de fonctionnement.
- Une grande bande passante (réponse à grande vitesse).
- Bruit minimum (courant d'obscurité le plus faible possible).
- Grande fidélité de reconstitution du signal.
- Bonne stabilité en température.

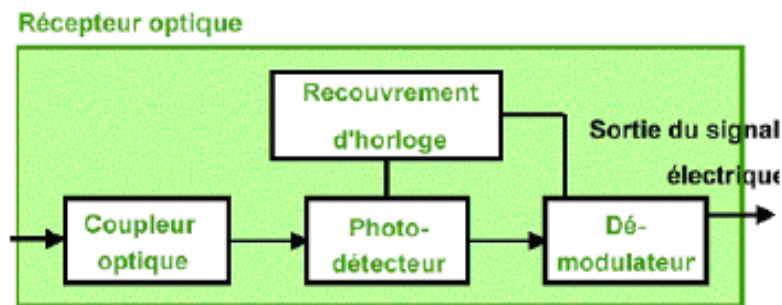


Figure II.7: Structure bloc d'un récepteur optique.

Les mêmes bruits que pour les modules d'émission, de nombreux efforts ont été fournis pour rendre les modules de réception de plus en plus performants. Le rôle du récepteur est de convertir au mieux le signal optique en signal électrique. Ce module est composé de plusieurs blocs fonctionnels.

On y retrouve trois parties (Figure II.8)

- Le bloc de '**premier étage**' composé du photodétecteur. Il peut être accompagné d'un préamplificateur, qui a pour but de rendre le photocourant généré suffisamment fort malgré le faible signal optique reçu ou la faible sensibilité du photodétecteur.
- Le bloc '**linéaire**', composé d'un amplificateur électrique à gain élevé et d'un filtre, réducteur de bruit.
- Le bloc '**recupération des données**', correspondant au dernier étage du récepteur. On y trouve un circuit de décision et un circuit de récupération de rythme, encore appelé circuit de synchronisation.

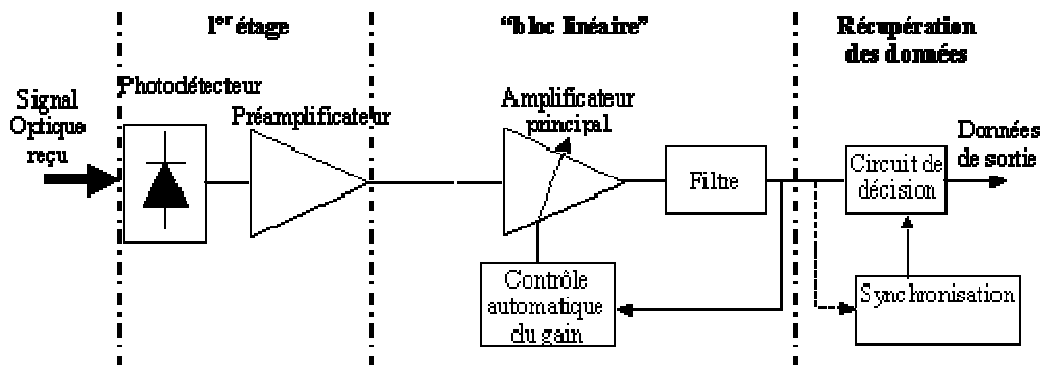


Figure II.8 : Schéma d'un récepteur de données à détection directe

Nous allons maintenant présenter chaque bloc afin de reconstituer le module de réception.

III.2.1 Le photodétecteur

L'interface optique de réception, dans une liaison à fibre optique, est chargée de convertir le signal lumineux en signal électrique, en lui apportant le minimum de dégradation. Ce rôle est tenu par le photodétecteur, qui est pour simplifier, se comporte comme un compteur de photons et un générateur de courant [8]. La première propriété requise est une sensibilité importante pour la longueur d'onde utilisée. La deuxième est la rapidité, il doit être utilisé dans des systèmes fonctionnant à 10 Gbits/s voire même 40 Gbits/s. La troisième propriété demandée est un apport minimum de bruit.

Afin de satisfaire la plupart de ces conditions, le choix se porte sur le photodétecteur à semi-conducteur, qui présente les avantages d'être très rapides et faciles à utiliser, bien que d'autres dispositifs soient plus sensibles. Dans ce paragraphe, nous rappellerons le principe de la photodétection avant d'étudier plus précisément deux exemples de photodétecteurs la photodiode PIN et la photodiode à avalanche (PDA).

III.2.2 Les catégories de photodiodes PIN

A. Les photodiodes PIN

Pour effectuer la photodétection en évitant les recombinaisons des paires électron-trou, il est nécessaire que les photons soient absorbés dans une zone dépourvue de porteurs mobiles,

assimilable à une zone de charge d'espace d'une jonction PN. Pour favoriser le rendement quantique, il est préférable que cette zone soit large. D'où l'intérêt de la photodiode PIN.

Les paramètres importants, dépendant du matériau et de la structure, qui caractérisent une photodiode PIN sont la sensibilité, le courant d'obscurité, le temps de réponse.

La sensibilité dépend du rendement, elle varie selon le coefficient d'absorption du matériau, et selon la largeur de la zone intrinsèque

Le signal électrique émis par la photodiode n'est pas parfait, il est bruité, apparaît entre autres le bruit quantique (encore appelé bruit photonique).

B. Les photodiodes à avalanche APD

Afin que le rapport signal sur bruit soit suffisamment important, l'idée d'utiliser le phénomène de multiplication interne pour qu'un photon incident n'engendre plus un seul photoélectron, mais plusieurs a été soulevée, ceci pour augmenter la puissance du signal électrique correspondant à une puissance optique incidente donnée.

C. Comparaison entre PIN, APD

<u>APD</u>	<u>caractéristiques</u>	<u>PIN</u>
Complexe	technologie	simple
Délicate	Mise en œuvre	simple
Oui (gain d'avalanche)	Gain interne	non
Élevée	Tension de polarisation	faible
Moyenne	Courant d'obscurité	faible
Oui	Facteur d'accès de bruit	non

Figure II.9 : Comparaison PIN/APD.

III.3 Canal de transmission

III.3.1 la fibre optique

Fibre monomode (9/125)

Fibre dans laquelle un seul faisceau lumineux circule à la longueur d'onde considérée. Le cœur d'une fibre monomode est de faible diamètre (typiquement $9\ \mu\text{m}$) (figure II.10).



Figure II.10: Canal de transmission pour la fibre monomode.

Cœur : Silice, $\varnothing=9\ \mu\text{m}$

Gaine optique: Silice, $\varnothing=125\ \mu\text{m}$

Revêtement de protection: Matériau plastique ($\varnothing=250\ \mu\text{m}$)

III.3.2 Caractéristiques de transmission

- _ La fibre monomode est utilisée pour les liaisons à débits importants, pour les longues distances supérieures à 1km ou pour les réseaux nécessitant peu de points de raccordement.
- _ La fibre monomode est très performante. La bande passante permet de transmettre un très grand nombre d'informations.
- _ L'ouverture numérique faible (0,113) nécessite une source lumineuse cohérente (Laser).
- _ Le cœur d'un diamètre faible nécessite des manipulations relativement délicates ainsi qu'un matériel de haute précision.

III.4 Raccordement des fibres optique

Le raccordement des fibres optiques pour les transmissions à grande distance est indispensable, cela nécessite de les couper à la longueur appropriée à chaque répéteur et de les connecter à d'autres composants.

Lorsque les câbles optiques ont été mis en place, vérifiés par un réflectométrie, pour détecter des dégâts éventuels que la fibre aurait pu subir lors du tirage, il ne reste plus qu'à poser les connectiques appropriées. Soit de type connecteurs ou des épissures, qui permettent de réaliser ce raccordement.

III.4.1 Type de raccordement

Selon la nature de la liaison à établir, on peut distinguer trois types de raccordements

- les raccordements fixes.
- les raccordements semi-fixes.
- les raccordements démontables.

a. Les raccordements fixes

Ce sont des raccordements qu'il ne sera plus possible d'ouvrir une fois qu'ils sont posés, leur destination principale et la mise bout à bout de plusieurs câbles optiques à fin de constituer des liaisons à grande portée [6].

Trois techniques sont utilisées dans ce type de raccordement

a.1 la soudure

La soudure est une technique de raccordement fixe la plus récente, cela consiste à chauffer les deux extrémités de la fibre de manière que la silice atteigne son point de fusion. On obtient ainsi une soudure sans apport le matériau.

Les épissures par fusion présentent des pertes d'insertion très faibles moins de 0.1 dB, pas de réflexion parasite et encombrements très réduits.

a.2 Le collage

Le principe est de noyer dans la colle deux fibres positionnées l'une en face de l'autre. Pour cela on utilise un centreur en élastomère translucide dans lequel une rainure est gravée. Ce type de raccordement présente un affaiblissement voisin de 0.1 dB.

a.3 Le sertissage

Le sertissage est un moyen d'épissure de deux fibres qui est simple d'utilisation, et qui assure une bonne protection. Il existe différents types de sertissage, suivants les fabricants qui les ont développées, le principe de fonctionnement est toujours le même [6].

Le sertissage présente l'avantage d'être facile et rapide, la qualité reste tout de même très bonne, les pertes typiques sont de l'ordre de 0.1 dB.

b. Les raccordements semi-fixes

Ce type de raccordement est un moyen qui permet de mettre les deux fibres bout à bout d'une façon non permanente [6].

On trouve dans cette catégorie de raccordement

- Le domaine optique: utilisé pour effectuer des mesures comme la vérification du tirage d'un câble avant la mise en place de la connectique définitive.
- Le bornier optique : se présente sous forme d'un raccordement modulaire.
- L'adaptateur pour fibre nue.

c. Les raccordements démontables

On utilise dans ce type de raccordement, les connecteurs qui réalisent un raccordement avec une bonne résistance mécanique, utilisé en un nombre de manœuvres importantes, il est généralement constitué de deux fiches et d'un raccord ou d'une embase et d'une fiche, les connecteurs sont utilisés aux extrémités de la liaison pour le raccordement aux équipements d'émission et de réception et dans les répartiteurs optiques.

Aujourd'hui les connecteurs pour fibres monomodales ont une perte d'insertion moyenne inférieure à 0.5dB.

III.5 Répéteur ou régénérateur de signal

Il existe deux solutions d'ingénierie d'un répéteur

- **solution électro-optique**

Le faible signal optique reçu est converti en signal électrique par un photo-détecteur, est électriquement amplifié et module un faisceau LASER en sortie (conversion électrique-optique)

- **solution purement optique**

Le faible signal reçu est mélangé avec le signal issu d'un LASER optique et est amplifié par un amplificateur optique à base d'ions Er^{3+}

IV. Technique du Multiplexage

Lorsque plusieurs liaisons de données sont nécessaire entre deux sites, il est généralement plus économique d'utiliser une seule ligne partagée sur laquelle seront transmis les messages des différents équipements plutôt que de réaliser autant de liaisons points à points.

Deux types du multiplexage de base sont largement utilisés en transmission, à savoir le FDM (Frequency Division Multiplexing) ou MRF (Multiplexage a Répartition en Fréquence) mis en œuvre pour des signaux analogiques, et le TDM (Time Division Multiplexing) ou MTR (multiplexage a Répartition dans le Temps) mis en œuvre pour des signaux numériques.

IV.1 Multiplexage Fréquentiel FDM

Le multiplexage en fréquence consiste a deviser la bande passante de la ligne en sous bandes a l'aide d'un filtre passe-bande.

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 diffusion et télévision.

IV.2 Multiplexage Temporel TDM

Dans le multiplexage temporel TDM, l'allocation complète de la ligne aux différentes voies est effectuée périodiquement et pendant des intervalles de temps constants.

Ce type de multiplexage est destinés aux signaux numériques, les éléments des messages de chaque voie sont mémorisés sous forme de bits ou de caractère dans des tampons puis transmis séquentiellement sur voie composite. Ces éléments sont ainsi assemblés pour former les trames multiplexées.

V. Systèmes de transmission

Il existe deux types de transmission

V.1 Transmission Asynchrone

Dans ce mode de transmission, l'émetteur envoie des données à des instants aléatoires. Chaque caractère est transmis au moment où il est produit, sans tenir compte des caractères précédents ou suivants.

V.2 Transmission Synchrone

Dans ce mode de transmission l'émetteur et le récepteur sont synchronisés par la même horloge. Les données (caractères) sont transmises, les unes après les autres (pas d'intervalle de temps entre les données transmises).

VI. Les composants optiques

Le principal élément de la partie transmission est la fibre optique. Elle offre une très grande capacité de transport, plus grande que les convertisseurs optique-électronique et les composants électroniques. D'où l'idée de traiter le plus souvent possible le signal lumineux avant sa conversion électrique. Pour cela, de nombreux progrès ont été réalisés sur les composants optiques. Nous avons tout d'abord les composants actifs (laser, détecteur et modulateur) et les composants passifs comme les filtres optiques, les isolateurs et les coupleurs [1].

Aujourd'hui, on ne peut plus parler de systèmes de télécommunications sans ces éléments.

VI.1 Amplification optique

L'évolution des systèmes de transmission optique a connu une révolution avec la mise au point et le développement industriel des amplificateurs optiques à la fin des années 80[1].

Trouvant désormais des fibres optiques à dispersion chromatique soit faible, soit opposé, la principale contrainte de ce support de transmission était devenue l'atténuation des signaux

durant la propagation. Or le photodétecteur émettra un courant de qualité, codant correctement l'information à transmettre, seulement si le photocourant n'est pas noyé dans le bruit, et donc si la puissance optique reçue est suffisamment importante. L'amplification optique devient alors une alternative aux complexes répéteurs-régénérateurs optoélectroniques. Elle permet de compenser ces pertes et de contrôler régulièrement la puissance optique des signaux. Il est désormais possible de transmettre le signal optique sans conversion sur une distance beaucoup plus importante.

VI.2 Généralités sur l'amplification optique

L'amplification optique repose sur le phénomène d'émission stimulée, déjà présentée dans le paragraphe sur les diodes lasers. Le signal est amplifié dans un guide (semi-conducteur ou fibre) grâce à un apport extérieur d'énergie appelé pompage (courant injecté ou source de lumière) qui vient créer une inversion de population. La recombinaison électron-trou peut ensuite être provoquée par un photon incident, ce qui donne naissance à un deuxième photon de même fréquence, de même phase et même direction. Cette émission est dite stimulée et conduit à une amplification du signal.

En même temps, la recombinaison peut se faire sans la présence d'un photon incident. Ces photons, émis de façon spontanée, de manière non cohérente, constituent le bruit de l'amplification optique.

VI.3 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 II.11

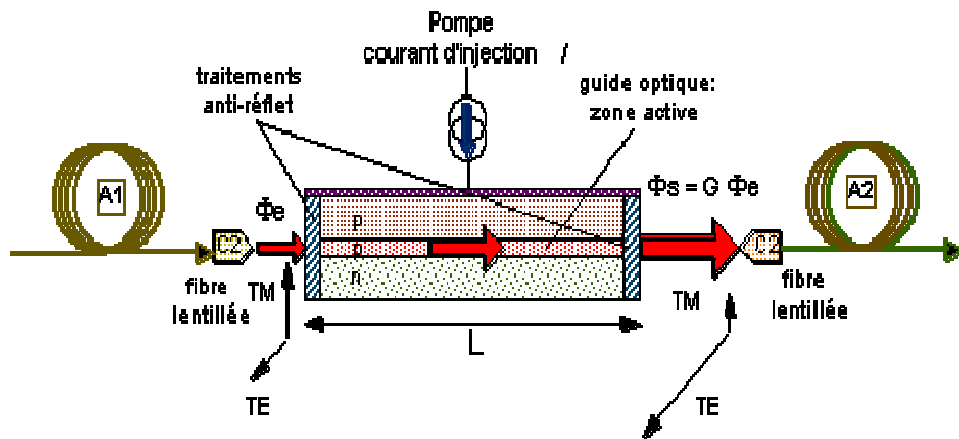


Figure II.11: Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur.

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

VI.4 Les amplificateurs à fibre dopée (EDFA)

Le milieu amplificateur est cette fois-ci le cœur d'une fibre optique monomode dopée avec des ions de terre rare. Pour que la fibre ne soit pas absorbante, mais amplificatrice, il faut l'associer à un pompage optique. Un multiplexeur permet de coupler le flux lumineux puissant provenant d'une diode laser de pompe et le signal à l'intérieur de la fibre [8]. Les longueurs d'onde de pompe doivent permettre des transitions vers les états excités des ions de terre rare et créer l'inversion de polarisation.

Afin d'augmenter et uniformiser dans la fibre dopée l'inversion de polarisation et donc l'amplification du signal, un double pompage aux deux extrémités peut également être réalisé. La (Figure III.12) représente la configuration d'un de ces amplificateurs à fibre dopée.

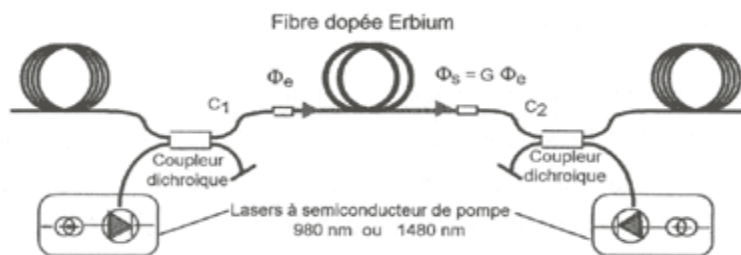


Figure III.12: Configuration d'un amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium avec pompage optique.

VI.5 Comparaison des amplificateurs

L'amplificateur à semi-conducteur n'apparaît que très peu dans un système de transmission, car il présente aujourd'hui des caractéristiques assez peu favorables, au regard des EDFA. On notera cependant qu'il est le meilleur candidat à $1,3 \mu\text{m}$. De plus, il se prête à l'intégration monolithique, ce qui est difficilement réalisable avec les EDFA.

L'apparition de ces derniers a néanmoins eu des conséquences fondamentales. Ils ont permis de fabriquer un milieu de propagation sans perte sur une très grande distance dans les systèmes de transmission travaillant à $1,55 \mu\text{m}$. En les insérant périodiquement, ils trouvent leur application dans les liaisons sous-marines. Ils introduisent de plus faibles pertes d'insertion, une faible distorsion du signal, un gain plus important et sont insensibles à la polarisation de la lumière incidente contrairement aux AOSC. Ceci conduit à préférer les EDFA. Leur plus gros défaut est leur limite à amplifier uniquement autour de 1550 nm .

VI.6 Les atténuateurs, isolateurs et les compensateurs de dispersion

Un atténuateur consiste en un assemblage de filtres, réduisant l'intensité de la lumière qui le traverse. Ce composant est utilisé dans les télécommunications optiques pour réguler la quantité de lumière arrivant sur les composants sensibles, tels que les photodétecteurs

Un isolateur optique consiste en un assemblage de lentilles et de prismes, transmettant la lumière uniquement dans une seule et même direction. Ces composants sont généralement utilisés pour stopper la réflexion ou pour isoler les sources émissives, comme les lasers.

Durant la transmission des multiples longueurs d'onde dans une fibre, les longueurs d'onde les plus longues ont tendance à prendre de l'avance sur les plus courtes, du fait de leurs modes de dispersion différents durant le trajet. De ce fait, le spectre du signal transmis devient plus large que celui émis à l'origine.

Pour réguler ce phénomène, on insère avant le récepteur du compensateur de dispersion, constitués d'une fibre courte, ralentissant les longues d'onde longues et accélérant les courtes.

VI.7 Les coupleurs

Dans les réseaux de fibres optiques, les coupleurs permettent de distribuer le signal optique vers plusieurs fibres ou inversement, acheminer le signal venant de plusieurs fibres vers une seule [8]. Le principe de base est celui du couplage par onde évanescente entre deux fibres dont

les cœurs sont très proches. Pour que les coupleurs permettent une diffusion efficace d'informations, ils doivent satisfaire à deux conditions fondamentales

- Leur panne ne doit pas perturber le système auquel ils donnent accès.
- Le prélèvement de données en un point ne doit pas soutirer plus de quelques pour-cent de la puissance transmise.

Il existe plusieurs formes de coupleurs, telles que les coupleurs étoiles qui disposent de N entrées et N sorties, les coupleurs séries qui disposent de deux entrées et une sortie ou inversement, les coupleurs en T et les coupleurs en Y.

VI.8 Les filtres optiques

Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. La séparation spectrale est réalisée en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. On caractérise donc le filtre par sa bande passante c'est-à-dire le domaine de fréquences (ou de longueurs d'onde) pour lequel il laisse passer la lumière et par sa bande atténuée, c'est-à-dire le domaine de fréquences (ou de longueurs d'onde) pour lesquelles il réfléchit la lumière incidente. Ces deux domaines spectraux peuvent être très larges notamment pour les filtres passe-haut et passe-bas.

VII. Conclusion

Les fibres optiques possèdent de nombreuses qualités pour transmettre une grande quantité d'informations sur de longues distances. Plusieurs de leurs défauts ont été énumérés (par exemple la dispersion chromatique) et des solutions sont proposées pour les corriger (fibres de compensation). Sont apparus sur le marché depuis quelques années des amplificateurs optiques pour remédier à l'atténuation du signal dans les fibres.

Chapitre III

La Hiérarchie SDH

I.Introduction

Le premier réseau de transmission numérique était basé sur la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH) c'est la technique qui a précédé SDH, elle est née avec la numérisation des réseaux téléphoniques dans les années 1970 comme première technique de multiplexage numérique (1960/1970) [2]. La hiérarchie PDH est apparue avec la numérisation de la voix et la nécessité de transporter plusieurs canaux téléphoniques sur un même support.

Le multiplexe de base est constitué avec le regroupement de plusieurs canaux téléphoniques à 64 Kb/s. Cependant cette hiérarchie était peu flexible et c'est retrouvé incapable de satisfaire les exigences croissantes des réseaux de transmissions modernes. D'où la nécessité de normaliser une nouvelle hiérarchie numérique synchrone (SDH).

La SDH élargit les principes de la hiérarchie PDH en définissant de nouveaux niveaux administratifs qui découlent de l'entrelacement direct des octets pour un traitement plus souple des voies de transmission et pour une gestion plus élaborée.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les avantages apportée par cette nouvelle hiérarchie ses principales techniques et équipements.

.II. La définition de la SDH

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une technologie de transmission synchrone sur fibre optique qui répond à un certain nombre d'objectifs qui sont la flexibilité, la visibilité et la facilité d'exploitation des systèmes.

La SDH est apparue à la fin des années 80 (Novembre 1988), cette hiérarchie de transmission est fondée sur les concepts de SONET (Synchronous Optical Network) proposée par l'organisme de normalisation américain BELLCORE (BELL Commutation Research), les premières normes SDH ont été approuvées à MELBOURNE (G707, G708, G709) par le CCITT (Comité Consultatif International du Téléphone et Télégraphe) [2].

Elles servent à définir les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

- **G.707:** Synchronous digital bit rate (débit binaire de la SDH).

- **G.708** : Network Node Interface for the synchronous digital hierarchy (Interface de nœud de réseau pour la SDH).
- **G.709** : Synchronous multiplexing structure (structure de multiplexage synchrone).

La SDH se situe sur les couches 1 et 2 du modèle OSI. Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

A titre d'exemple, avec un codage de la parole à 64 Kb/s, le nombre de communications téléphoniques simultanées pouvant être transportées comme suit

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

III Principe de fonctionnement de la SDH

III.1 Constitution des trames SDH

La structure des trames dans un réseau pliosochrome PDH ne comporte qu'un nombre réduit de bits alloués à l'exploitation et ne permettent pas la gestion de réseau. Par contre, la technologie SDH, ayant été conçue pour fonctionner sur fibre optique dispose de débits de transport considérables permettant de réserver une capacité significative pour la gestion de réseau SDH inclut l'exploitation, la maintenance et la mise en service. Elle est effectuée par le surdébit transporté dans les trames.

Chaque couche d'un réseau SDH (niveau d'encapsulation) dispose de moyen propres de gestion. Certaines données dites de bourrage sont incluses juste pour la synchronisation.

III.2 Structure de la trame de base STM-1

La trame de base, appelé STM-1(Synchronous Transport Module1) possède les caractéristiques suivantes :

- ✓ longueur totale : 2 430 octets.
- ✓ durée de 125 microsecondes (fréquence de répétition de 8 kHz).
- ✓ débit résultant : 155,520 Mbit/s.

- ✓ Sa capacité utile 2349 octets.

Elle se décompose en trois zones représentées ci-dessous

➤ **Surdébit de section (SOH : Section Over Head)**

Il est réservé à l'exploitation, ce dernier occupe avec le pointeur les 9 premières colonnes de chaque trame. Le SOH se divise en surdébit pour la section de régénération ou RSOH et surdébit de section de multiplexage ou MSOH.

➤ **Les pointeurs d'AU (PTR)**

c'est le pointeur de l'unité administrative qui indique la position effective du début de la charge dans la tram [9].

La figure si dessous représente la structure de la trame STM-1

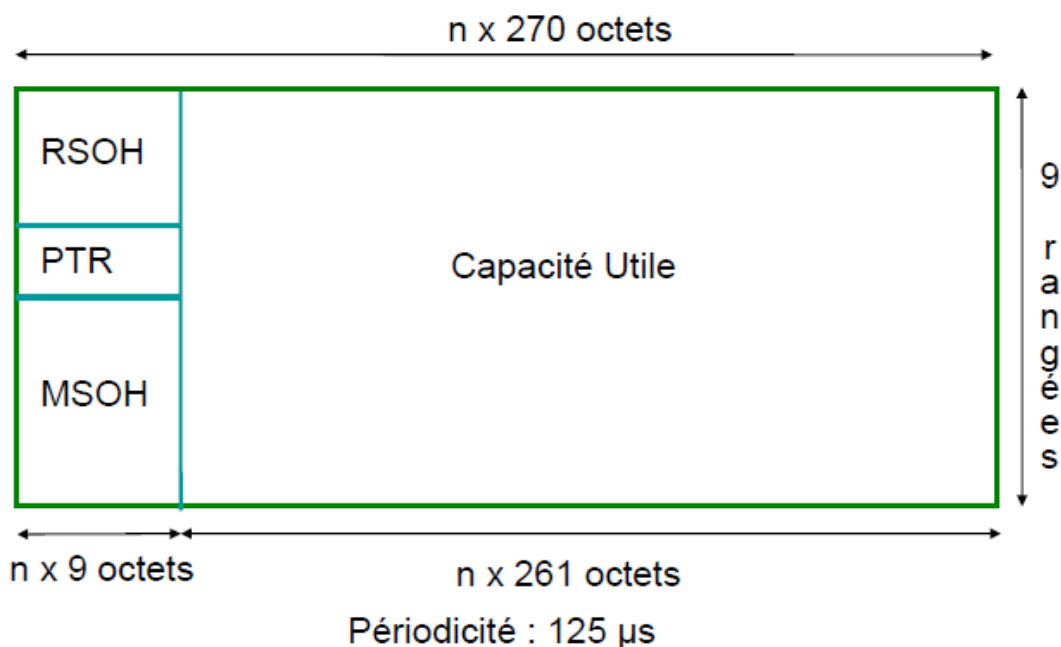


Figure III.1 : Représente l'organisation de la trame de base STM-1.

Le SOH se divise en deux niveaux de gestion à savoir le RSOH et le MSOH.

a. RSOH (Regeneration Section Over Head)

Il est utilisé pour dialoguer avec/entre les régénérateurs, il est constitué des rangés 1 à 3 du SOH, soit un débit de 1.728 Mbit/s.

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	nu	nu
B1	X	X	E1	X	X	F1	nu	nu
D1	X	X	D2	X	X	D3	X	X

Figure III.2 : Représentation des octets du RSOH.

- **A1, A2** : les octets constituent le mot de verrouillage de la trame, elle est caractérisée par une configuration particulière qui est la suivante
A1=11110110
A2=00101000
- **J0** : Identificateur de la trace pour la section de régénération.
- **B1** : Surveillance du taux d'erreurs sur les bits de section de régénération E1 (voies de service omnibus (Parole)).
- **E1** : Resource offre une voie de service vocal qui peut être utilisé par l'opérateur.
- **F1** : Constitution d'une voie de service ou de données pour l'utilisateur.
- **D1, D2, D3** : canaux de communication de données pour la section de régénération. Data Communication Channel (DCC)
- **X** : Non utilisé (octet réservé pour la normalisation international).
- **nu** : Octet réservé pour l'utilisation national.

b. MSOH (Multiplex Section Over Head)

Il est utiliser pour dialoguer avec/entre les multiplexeurs .il est constitué des ranges 5 a 9 du SOH, soit un débit de 2.388 Mbit/s.

Surdébit de section de multiplexage (MSOH)

B2	B2	B2	K1	X	X	K2	X	X
D4	X	X	D5	X	X	D6	X	X
D7	X	X	D8	X	X	D9	X	X
D10	X	X	D11	X	X	D12	X	X
S1	Z1	Z2	Z2	Z2	M1	E2	nu	nu

Figure III.3 : Représentation des octets du MSOH.

Avec :

- **B2** : Surveillance de la qualité sur la section de multiplexage.
- **E2** : C'est une voie de service à 64Kbit/s entre multiplexeur d'une section de multiplexage, il joue un rôle similaire a celui de l'octet E1.
- **K1, K2** : Ces deux octets servent a la gestion de la sécurisation du réseau (demande de secours, indication de canal de secours, adresse...ect).
- **D4...D12** : Ils représentent un canal de communication de données pour transporter les flux de gestion au niveau de la section de multiplexage.
- **S1** : Indication de la qualité de synchronisation du réseau SDH, les 4 bits (5678) de l'octet S1 sont alloués aux messages de la qualité de transmission.
- **M1**: Véhicule le nombre de bits qui ont été détectés erronés sur B2.

c. Le pointeur PTR

C'est dans le pointeur que réside le secret de la hiérarchie numérique synchrone, en effet, c'est le pointeur qui assure à lui seul la synchronisation. Le principe est simple SDH utilise des pointeurs et une technique de justification « négative-nulle-positive » pour pouvoir faire «flotter » les informations utiles dans la trame et ainsi les décalages de phase entre les équipements sont absorbés [2].

d. POH (Path Over Head)

Le POH est utilisée pour transmettre le surdébit et le pointeur est décrémenté d'une unité. Inversement, quand le signal varie plus vite que l'horloge locale, on insert des bits de bourrages et on incrémente la valeur du pointeur.

Lorsque la quantité d'information à transporter est supérieure à la zone disponible dans la trame SDH, elle se continue dans la trame suivante et la fin est indiquée par un "marqueur de fin".

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

d.1 Le surdébit du conduit supérieur (VC-n)

Le POH des VC-3 et VC-4 est constitué de la première colonne de ses conteneurs virtuels, soit une capacité de 9 octets, représenté dans la figure suivante

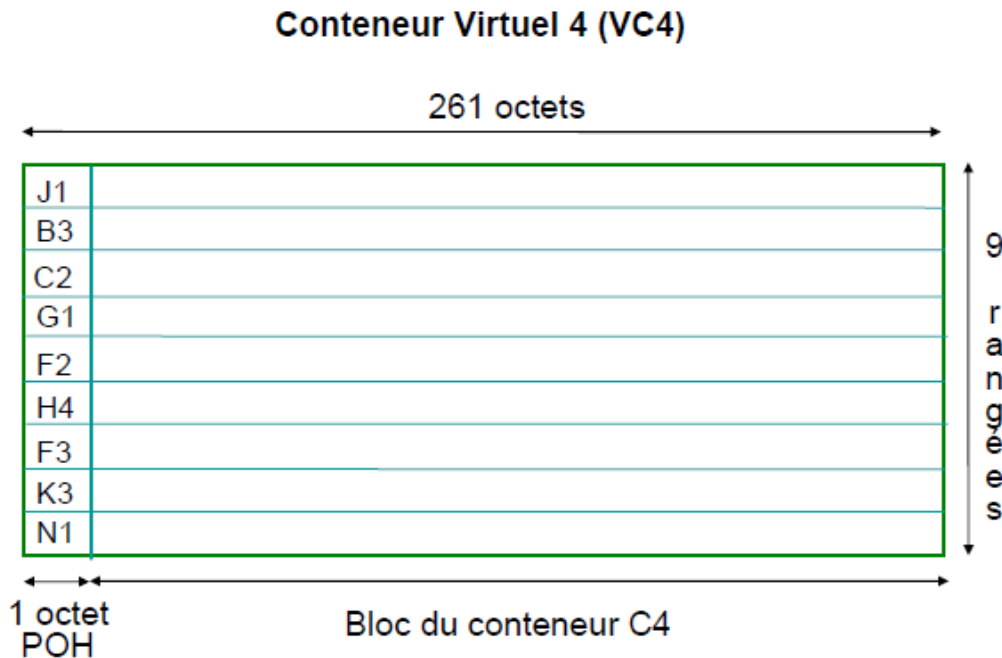


Figure III.4 : Le surdébit du conduit supérieur.

Signification des bits de POH de VC-n

J1 : La trace de conduit qui permet l'identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur.

B3 : La surveillance des erreurs du conduit par contrôle de bit du VC-4.

C2 : Etiquette du signal de conduit qui permet de connaître la composition du conteneur.

G1 : L'état du conduit qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante.

F2, F3 : La voie de service et le contrôle de qualité pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC-4.

d.2. Le surdébit du conduit inférieur (VC-m)

Le POH de ces VC-m sont tous constitués de 4 octets, à savoir V5, J2, N2 et K4.

La figure III.5 représente une illustration pour le cas de VC-12.

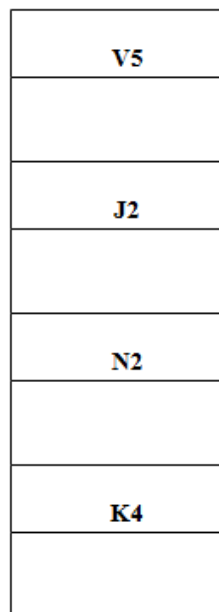


Figure III.5: Le surdébit du conduit inférieur.

Signification des bits de POH de VC-m

V5 :

- bit 1,2 : Surveillance de la qualité de service.
- bit 3 : Renvoie à la source VC-12 le résultat de la qualité reçue
- bit 4 : Trace du conduit.
- bit 5, 6,7 : Structure de la charge utile transportée.
- bit 8 : Indication d'alarme distante.

J2 : Trace du conduit VC-12.

N2 : Réserve à l'opérateur.

K4 : Protection APS du conduit.

III.3 Multiplexage SDH

Le multiplexage s'effectue en deux étapes. Au cours de la première étape, dit niveau inférieur LO (Low Order) sont multiplexés dans le niveau supérieur HO (High Order) pour former les VC-HO, en suite dans le deuxième niveau les VC-HO sont multiplexés pour former la trame STM. Une section est partagée entre section de régénération (RSOH) et de multiplexage (MSOH).

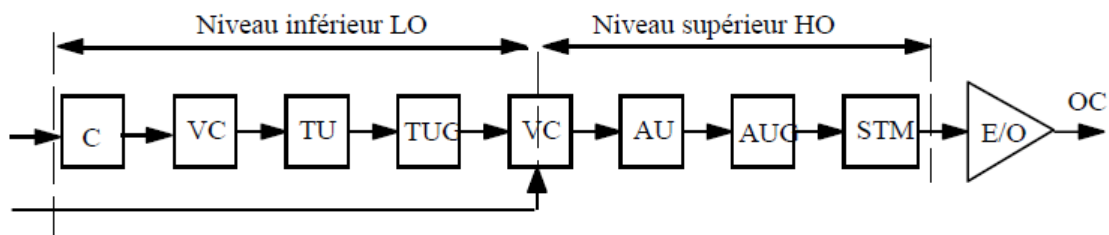


Figure III.6 : Les niveaux du multiplexage SDH.

La figure suivante représente l'organisation hiérarchique des débits de la norme SDH en STM-n (Synchronous Transfert Module n) et SONET en STS-n (Synchronous Transfert Signal n) [9].

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

Figure III.7: Répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET.

III.4. Les entités traitées par le réseau SDH

a.la notion de Conteneur(C-n)

Les signaux à transporter proviennent des liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrones. Pour faciliter leur transport on les segmente en petits blocs appelés conteneurs. Un conteneur contient un paquet de données utiles (payload) arrivé au rythme du débit de l'affluent pendant 125µs plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident a la structure de la trame [2].

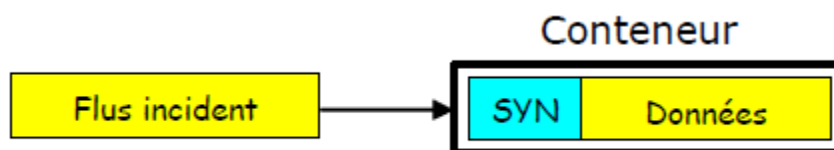


Figure III. 8: Construction d'un Conteneur.

b. Conteneur Virtuel

Pour transporter les signaux, on utilise des conteneurs virtuels (VC :Virtual Container).

C'est dans ces VC que se trouvent les sections de surcharge (POH : Path Over Head) qui sont utilisées par les pointeurs.

Le transport des conteneurs sur les trames STM 1 à STM 16 s'effectue par un multiplexage temporel. Le couple pointeur-VC, appelé AU (Administrative Unit) permet donc de transporter des signaux aussi bien synchrones qu'asynchrones. En fonction du débit, les unités administratives sont de deux niveaux possibles : AU3 et AU4.

Les conteneurs sont gérés dans le réseau de transmission SDH, indépendamment des signaux qu'ils transportent. Ce packaging est appelé adaptation.

Il existe deux types de conteneurs virtuels :

- Les conteneurs virtuels d'ordre inférieur (VC-11, VC-12, VC-2 et VC-3) qui sont transportés dans des conteneurs virtuels d'ordre supérieur.
- Les conteneurs virtuels d'ordre supérieur (VC-3 et VC-4) qui sont multiplexés pour former le signal résultant.



Figure III.9 : Construction d'un conteneur Virtuel.

Les VC ont donc différentes tailles récapitulées ci-dessous

Virtual Container	Capacité
VC-11	1.7 Mbps
VC-12	2.3 Mbps
VC-2	6.8 Mbps
VC-3	50 Mbps
VC-4	150 Mbps

Figure III.10 : Taille de Conteneurs Virtuel (VC).

c. Tributary Unit (TU)

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout en pouvant le localiser immédiatement, la SDH utilise un pointeur c'est-à-dire une adresse relative du VC par rapport au début de trame. Le pointeur plus le VC constitue ce qu'on appelle une Tributary Unit (TU)

Le début d'une TU ne synchronise pas forcément avec celui d'un VC. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC_n dans la trame de transport.

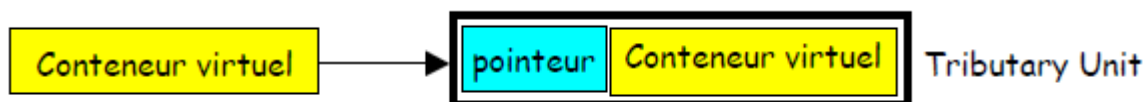


Figure III.11: Construction de Tributary Unit.

d. Groupe d'Unité d'Affluent TUG (Tributary Unit Group)

Les TUs de différents affluents sont multiplexées (groupées par 3 ou 4) pour former des blocs plus grand appelé des Tributary Unit Group (TUG). Le multiplexage se fait toujours octet par octet. Il n'y a pas de surdébit propre à une TUG.

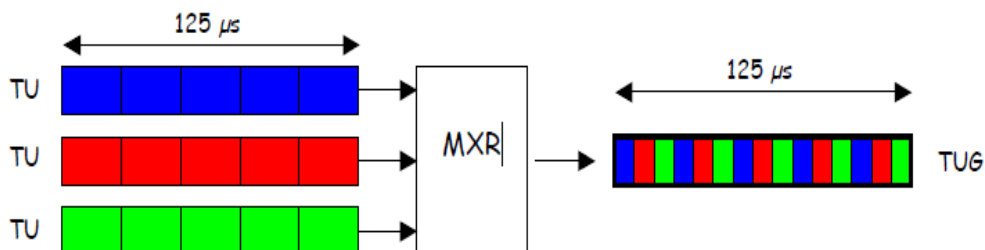


Figure III.12 : Construction d'une TUG-2 à partir de 3 TU-12.

e. Les Unités Administrative AU et AUG

Dans le niveau supérieur HO, les Unités administratives sont l'équivalent des Tributary Unit dans le niveau inférieur. Ici aussi, les VC-HO flottent dans les AU, d'ou la nécessité de pointeurs pour localiser les VC dans les AU.

III.3.2 Exemple de constitution de la trame (STM-1) à partir d'un E1(C-12)

Pour illustrer le mécanisme de multiplexage, nous allons détailler les étapes de constitution d'une trame STM-1 à partir d'affluents E1 en suivant le chemin :

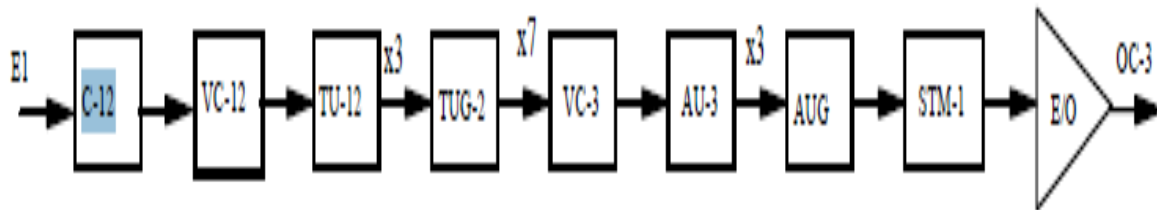


Figure III.13 : Formation d'un signal STM-1 à partir d'affluents E1

a. Constitution du Conteneur C-12

Le C-12 est issu d'un affluent PDH E1 (2.048Mb/s). Nous savons que ce multiplex est constitué de trames de 32 octets d'une durée de 125 μ s. Comme SDH aussi procède à des découpages de 125 μ s, on se retrouve avec des blocs de données de 32 octets. En ajoutant deux octets de surdébit, on obtient le conteneur C-12 de capacité 34 octets [10]. Les deux octets supplémentaires servent à adapter le débit de l'affluent au rythme de l'horloge SDH en utilisant la technique de justification positive ou négative.

b. Constitution du Conteneur Virtuel VC-12

Après la constitution d'un conteneur C-12, on lui ajoute un identificateur de chemin POH et on obtient un conteneur virtuel VC-12 de capacité 35 octets. L'obligation de disposer de quatre octets POH pour gérer le chemin des Conteneurs rend nécessaire le regroupement des VCs en multitrames de 4 VC, chacun portant un octet de POH. Ces octets sont appelés V5, J2, N2, K4.

c. Constitution de la tributary Unit TU-12

La Tributary Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12. Là aussi, l'obligation de disposer de 4 pointeurs a mené à regrouper les TU-12 en multitrames de 4. Les pointeurs sont notés V1, V2, V3 et V4. Ces pointeurs, comme nous l'avons déjà signalé, permettent de localiser le début du VC par rapport au début de la TU.

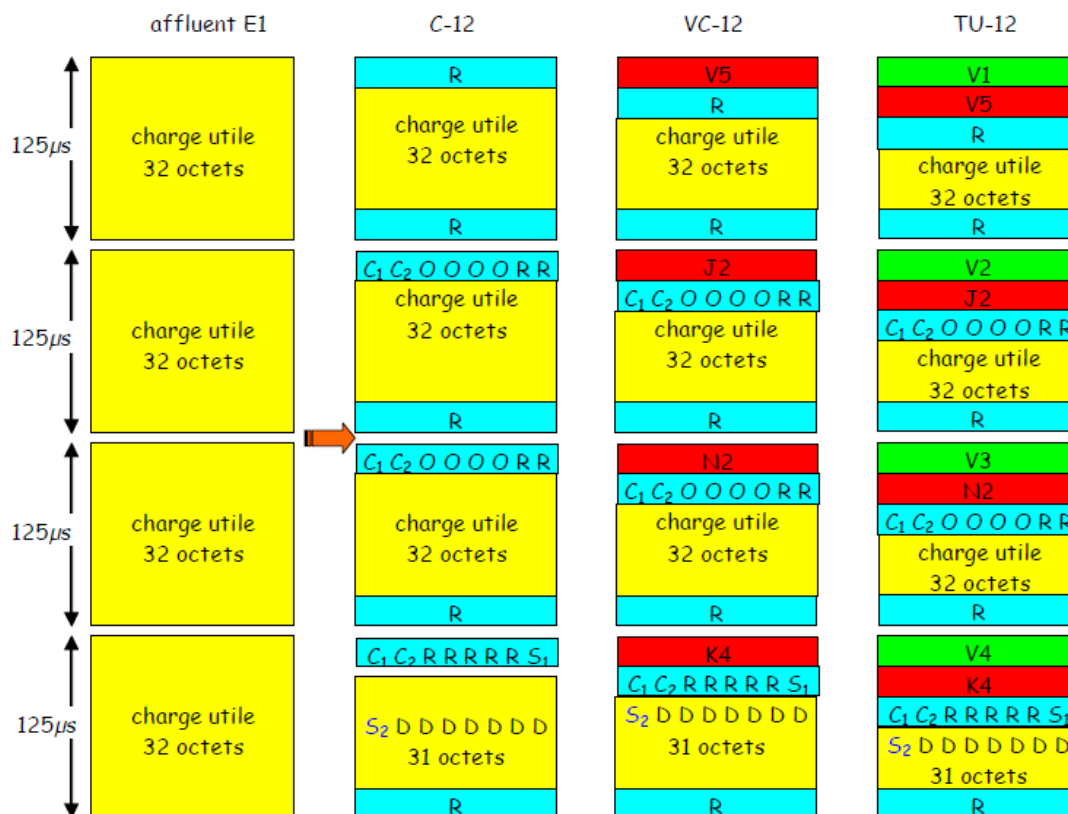


Figure III.14 : Constitution de la Tributary Unit TU

Sur Figure III.14 on a

R : bit de Remplissage

D : bit de donnée (charge utile)

C1 C2 : bits de contrôle de justification

S1, S2 : bits de justification

O : bit de service

Le contrôle de justification se fait comme suit :

- Il y a 3 bits C1 dans une multitrame de Containers
 - Si C1 C1 C1 = 000 alors S1 est un bit de donnée
 - Si C1 C1 C1 = 111 alors S1 est un bit de bourrage
- Il y a 3 bits C2 dans un multitrame
 - Si C2 C2 C2 = 000 alors S2 est un bit de donnée
 - Si C2 C2 C2 = 111 alors S2 est un bit de bourrage

Les bits C1 et C2 sont transmis trois fois pour augmenter la sécurité. On utilise une décision majoritaire pour décider si le bit C est égal à un ou à 0 : (3 ou 2 '0' → C = 0) (3 ou 2 '1' → C = 1)

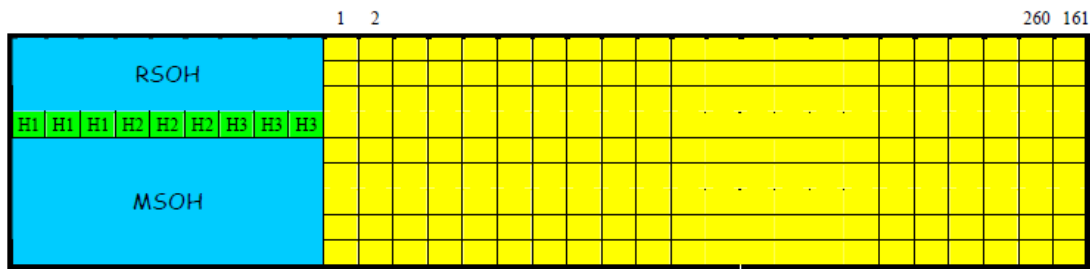


Figure III.19 : La trame STM-1.

III.4 Formation de la trame STM-n

Les trames de transport STMn (Synchronous Transport Module) sont obtenues en Multiplexant n AUG (et non n STM1) et en rajoutant un sur débit dit Sur débit de Section SOH (Section OverHead). La trame de Base STM1 (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM4 (622,080Mbit/s) contenant 4 AUG et son SOH, la trame STM16(2488,320Mbit/s) contenant 16 AUG et son SOH.

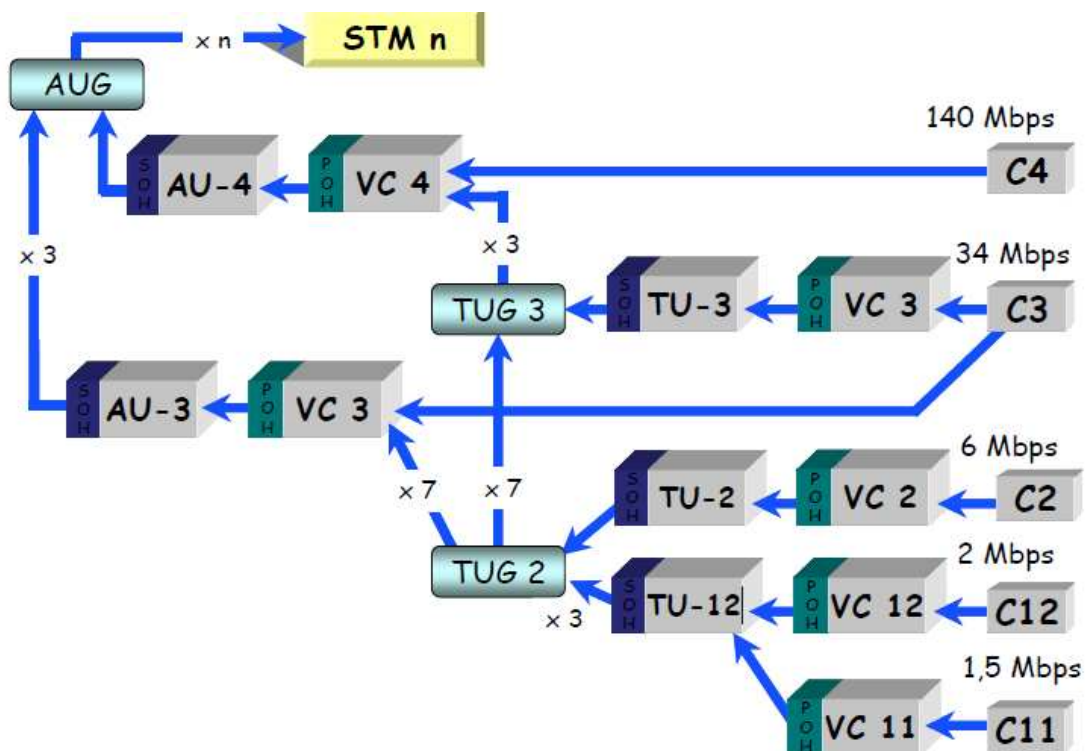


Figure III.20 : Structure du multiplexage synchrone pour la formation de l'STM-n.

IV Les multiplexeurs SDH

La fonction de base assurée par le multiplexeur consiste à charger et à extraire les affluents des différents clients qui ont été assemblés dans des trames STM-n véhiculées par le réseau. Donc il existe deux types de multiplexeurs

a) Multiplexeur d'Insertion /Extraire (MIE)

Les multiplexeurs insertion - extraction (add-drop) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est " .
- dérivation : insertion/extraction de signaux numériques plésiochrones et/ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou " Est " [10].
- des fonctions de brassage de VC12 ont été introduites dans le MIE.

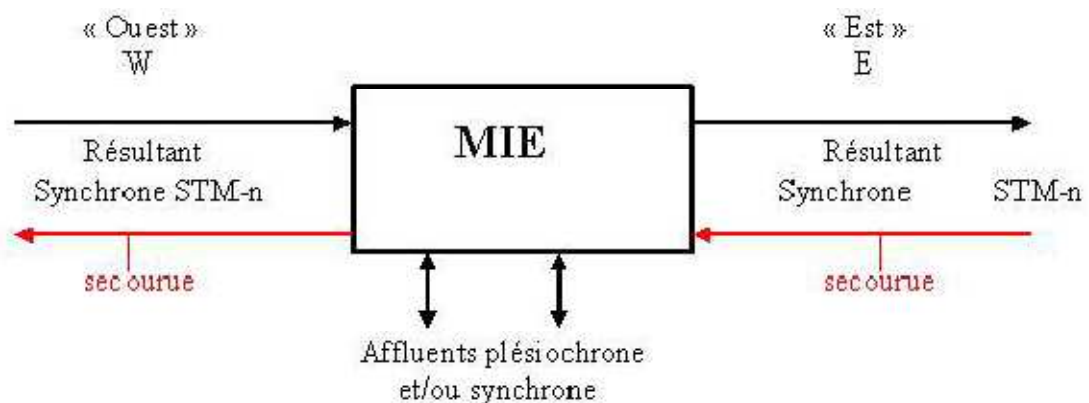


Figure III.21 : Multiplexeur d'insertion/Extraire(MIE)

Le MIE contient la fonction de régénération qui permet la remise en forme uniquement par régénération du signal électrique et une surveillance de la section de la régénération. Pour de longue distance on installe un MIE sans cartes affluentes pour régénérer le signal [2]. L'un des inconvénients majeurs du MIE est le nombre insuffisant d'accès à 2Mbit/s au niveau du châssis MIE alors que ce débit est le plus demandé, c'est pour cela que l'on utilise des MTS.

b) Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS)

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones (PDH) ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant.

Il existe deux configurations en point à point possible

- La première reliant deux MTS .
- La seconde reliant un MTS à un MIE qui est lui en anneau. La première configuration est utilisée pour une LS par exemple en optique ou pour une boucle optique STM-1 avec deux sites différents. La

seconde solution est la plus employée au sein du réseau des Opérateurs tel que France Telecom car l'avantage du MTS est son nombre important d'entrée/sortie d'affluent 2Mbit/s venant le plus souvent de la commutation pour relier les autocommutateurs publics entre eux et desservir des baies d'abonnées distantes de l'autocommutateur où l'anneau optique ne passe pas. Ce-ci correspond à une architecture comme celle-ci :

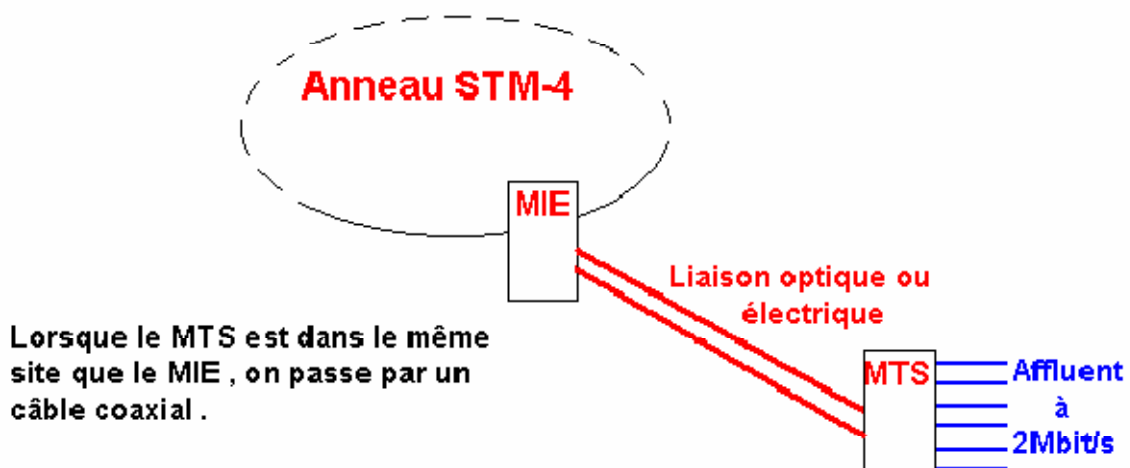


Figure III.22 : Multiplexeur Terminal Simplifié.

c) Les Brasseurs (DXC : Digital Cross Connect)

Ce sont les équipements les plus complexes et les plus flexibles, de forte capacité et ils sont donc situés aux nœuds importants du réseau. Les brasseurs sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre différentes portions de réseaux.

d) Les régénérateurs

Ils régénèrent le signal optique .ces équipements permettent d'augmenter la distance entre deux sites d'extraction. il ne s'agit pas d'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 réamplifié et resynchronisés. Les seuls changements sont aux niveaux de :

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

Il est donc possible d'envoyer des commandes aux régénérateurs de récupérer leurs alarmes (d'environnement ou bien sur le trafic).

IV.1 Topologie des Réseaux SDH

Les réseaux SDH sont généralement construits suivant une topologie hiérarchique d'anneaux en utilisant, le plus souvent des liens bidirectionnel .tout les liens d'un anneau doivent offrir la même puissance de transmission STM-n. Ces liens sont en générale des fibres optique d'où sont devisés en deux catégories [9].

a. Architecture en anneau monofibre

Cette architecture dite aussi en anneau unidirectionnel présente l'inconvénient que le temps de transmission entre deux nœuds est différent selon le sens du flux. Le temps de transmission $B \rightarrow A$ est supérieur au temps de transmission $A \rightarrow B$. Comme les trames transmises contiennent des informations concernant les trames reçues (qualité de transport par exemple), les retards de détection peuvent être préjudiciables à la procédure des échanges.

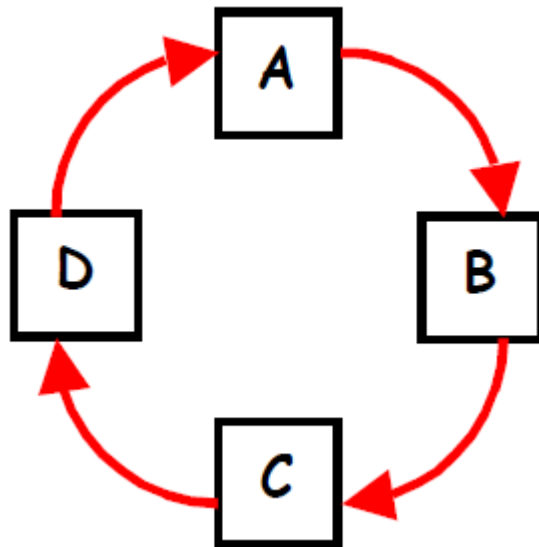


Figure III.23 : Anneaux unidirectionnel

b. Architecture en anneau bidirectionnel

Elle est constituée d'une paire de fibre, chaque fibre transporte le trafic dans un sens.

Elle permet une meilleur gestion des trafics sur les différents tronçons du réseau .

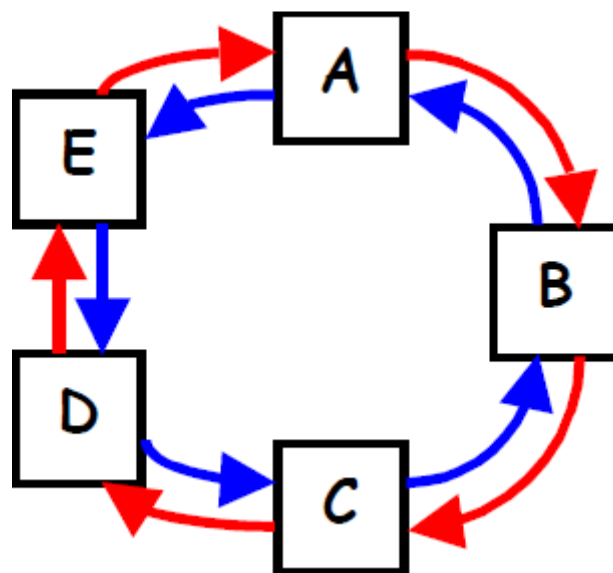


Figure III.24 : Anneaux bidirectionnel (2fibres)

IV.3 Protection du réseau SDH

La sécurité de la technologie SDH prévoit qu'en cas de coupure de ligne, le signal est automatiquement réacheminé sur un réseau « secours ». plusieurs configurations de ce réseau sont possibles.

Il existe deux mécanismes de protection d'anneau

1. la protection de conduit (SNCP)

Dans ce type de protection elle consiste à reproduire le trafic simultanément sur la fibre 1, dite « active » et sur la fibre 2, dite « protection ». le signal de meilleure qualité est sélectionné en réception au niveau de chaque conteneur virtuel VC-n de la trame STM-n

2. la protection de la section

Elle est basée sur la détection de défaut au niveau de la section de multiplexage pour les deux ADM situées de part et d'autre, cette protection est utilisée pour la sécurisation de connexion point à point elle est de deux sous-protections suivantes

3. La protection MSP

a. protection MSP (1+1)

ce type de protection offre deux accès optiques pour le trafic normal. Le secours ne peut pas être utilisé pour le réseau de réserve

b. protection MSP (1 :1)

Dans cette protection, une partie de la section de multiplexage est gardée en réserve pour la protection de N liaisons normales. En cas de panne, un échange entre les ADM permet de basculer sur le réseau de réserve

4. la protection de la section de multiplexage partagé (MS-SPRING)

Dans le cas de la protection partagée, en réserve la moitié de la capacité de l'anneau à la protection. on se limite donc à l'utilisation de la moitié de la capacité de chaque arc de l'anneau, mais il n'y a aucune limite sur le nombre de conduits configurables sur l'anneau. Lorsqu'une coupure se produit, les ADM situés de part et d'autre de la coupure renvoient les conduits interrompus sur la capacité de secours.

IV.4 SYNCHRONISATION DU RESEAU 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 d'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.

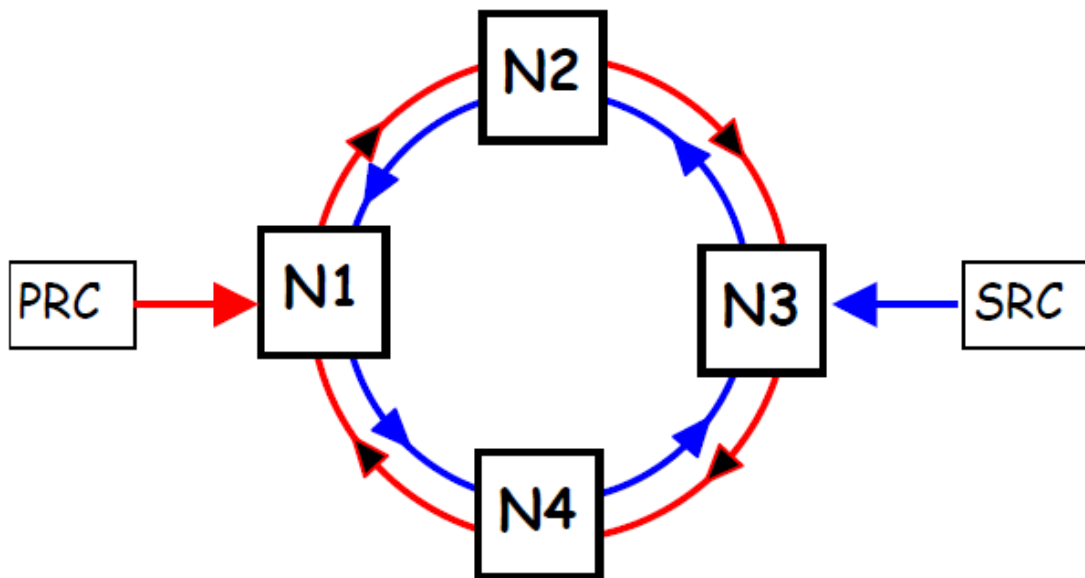


Figure III .25 : Distribution de l'horloge

Avec

- **PRC (Primary Reference Clock)**

c'est la source de référence du rythme pour tout le réseau , elle est doublé par une horloge secondaire.

- **SRC (Secondary Reference Clock)** qui est souvent une horloge GPS fournit par satellite

IV.5 Indication de synchronisation

Les trames STM comportent un octet STS (status message byte) dans le surdébit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée

PRC : 0010

SRC : 10111

V. Conclusion

L'objectif de la transmission est de faire transporter des données (voie image,...etc) d'une source vers une destination en minimisant au maximum les pertes. C'est pour cela que la transmission numérique synchrone est la plus adaptée.

Enfin l'évolution de SDH permet aujourd'hui d'attendre les recours en terme de débit .mais elle fait une réalité économique qui est l'apparition d'une nouvelle technologie permettant la mis en place de réseau toute optique de type WDM.

Chapitre IV

Application de transmission
sur SDH

I. Introduction

Algérie Télécom a le statut d'une entreprise publique, après une restructuration visant le secteur des postes et télécommunication.

Algérie Télécom effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont

- Backbone national de transmission a 10Gbits/s (SDH) et 80Gbits/s (WDM)
- Réseau radio rural 103 réseaux intégrant plus de 1500 localité
- Backbone régional de transmission 2,5 Gbits/s
- Plus de 1000 communes (APC) rattachées en fibre optique

Dans se qui suit, nous allons montrer les différentes étapes de mise en service des liaisons de transmission (SDH) via fibre optique.

- La pose de la fibre optique

- La configuration de l'équipement

II. Les différentes étapes de mise en service

II.1 Pose de la fibre optique

A Algérie télécom, il existe différents services spécialisés dans le CEL (Centre d'Entretien de Ligne).Il s'occupe de la mise en place de la fibre optique en respectant certains critères a savoir l'étude de faisabilité et la mise de la fibre a une profondeur nécessaire (80cm) en mettant a (40cm) de la surface terre un gréage avertisseur.

II.2 Configuration

Toutes les cartes des équipements SDH reçoivent une alimentation stabilisée de 48Volt, une horloge de synchronisation et une configuration de travail.

Les équipements assurant le transport de données via la technologie SDH sont supervisés à l'aide d'une interface (logiciel) appelée T2000. Nous allons éclaircir dans ce chapitre quelques manœuvres concernant cette interface.

II.2.1 Connexion à l'interface server et client

a) Lancer le T2000 (serveur)

Ces étapes permettant d'établir la connexion avec le server, en insérant un nom d'utilisateur (admin) et un mot de passe (T2000) comme le montrent les figures suivantes :



Figure IV.1 : Accès à l'interface Server

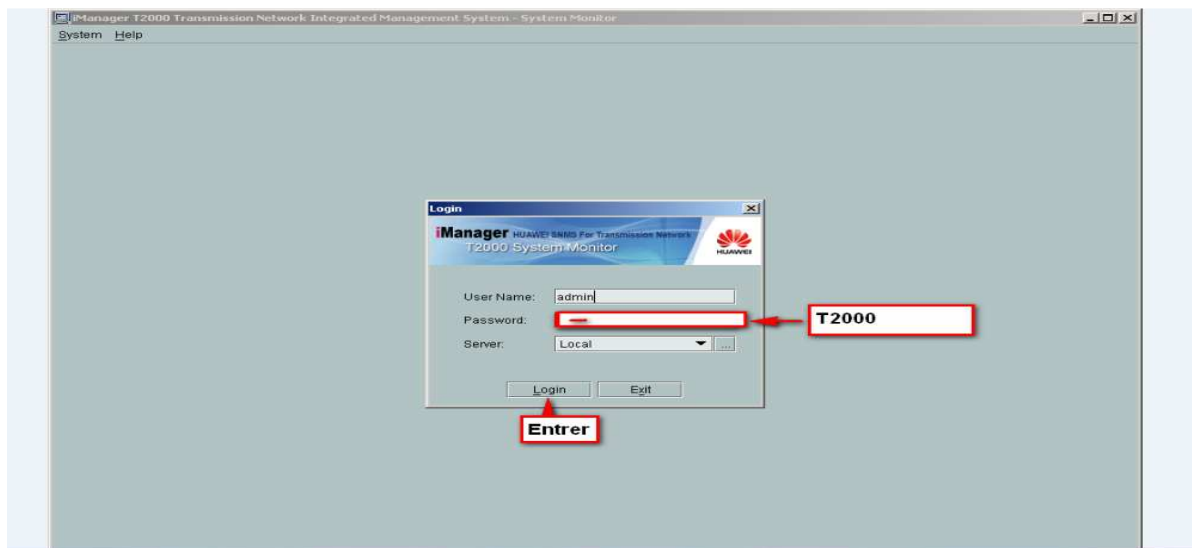


Figure IV.2 : Etape d'authentification au server.

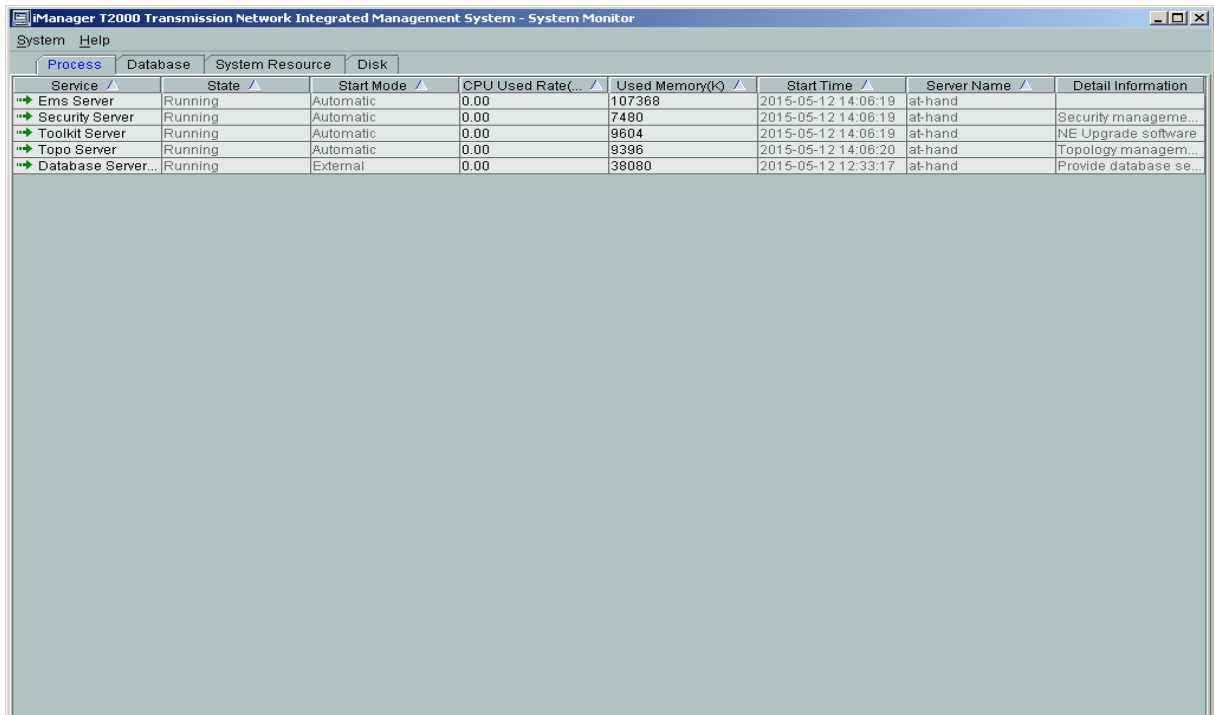


Figure VI.3 : Accès au server

b) Lancer interface Client

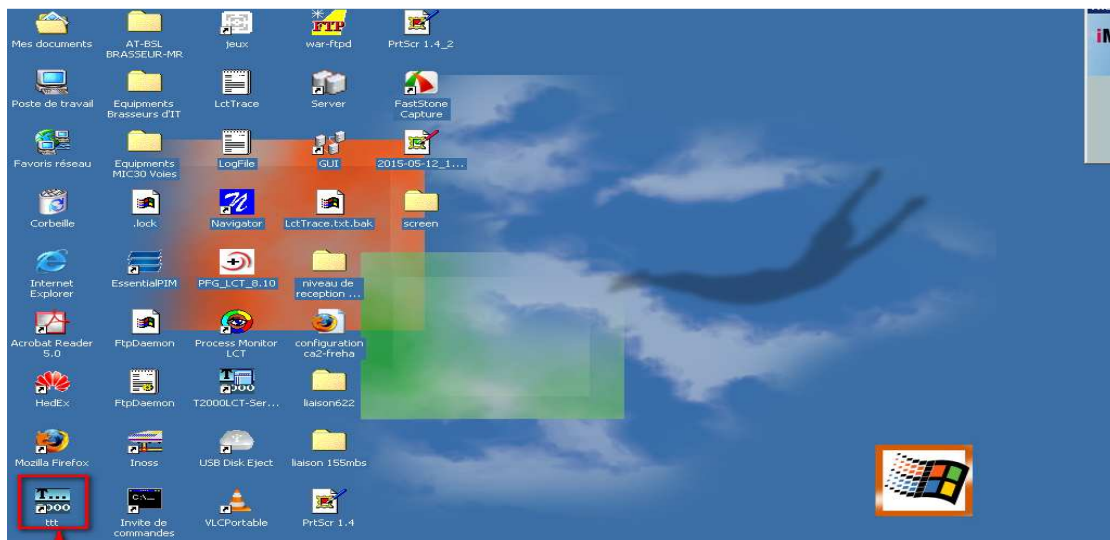


Figure IV.4 : Accès à l'interface client

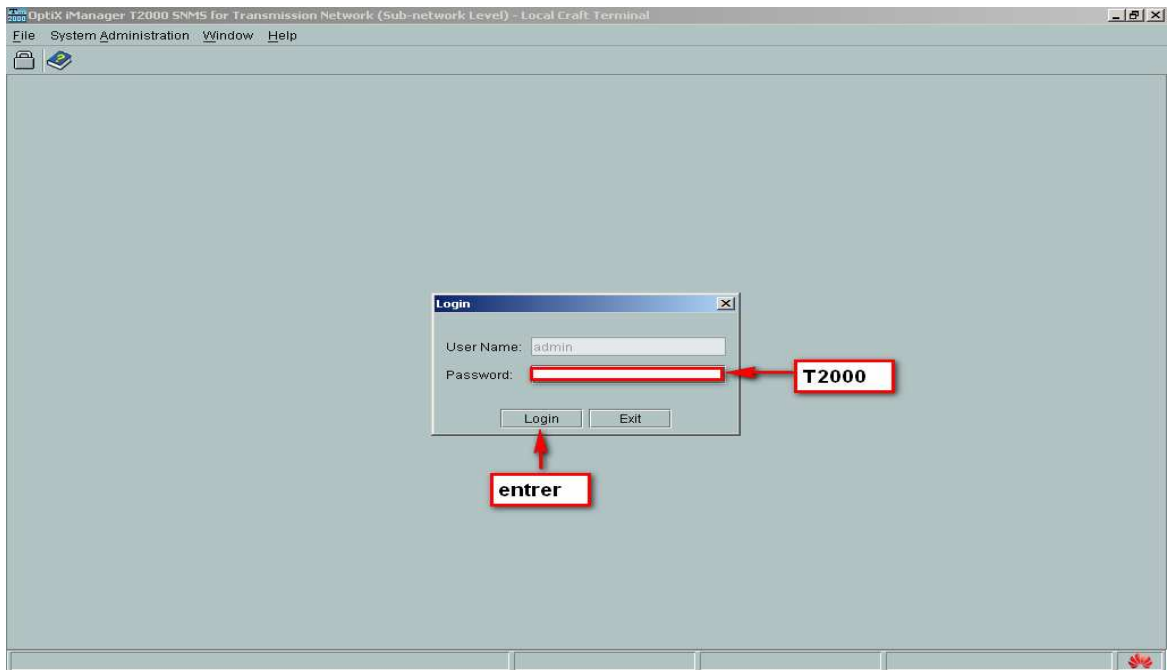


Figure IV.5 : Authentification à l'interface client

II.2.2 Recherche des éléments de réseau

Elle est obtenue en cliquant sur File en suite Search for NE comme le montre la figure suivante :

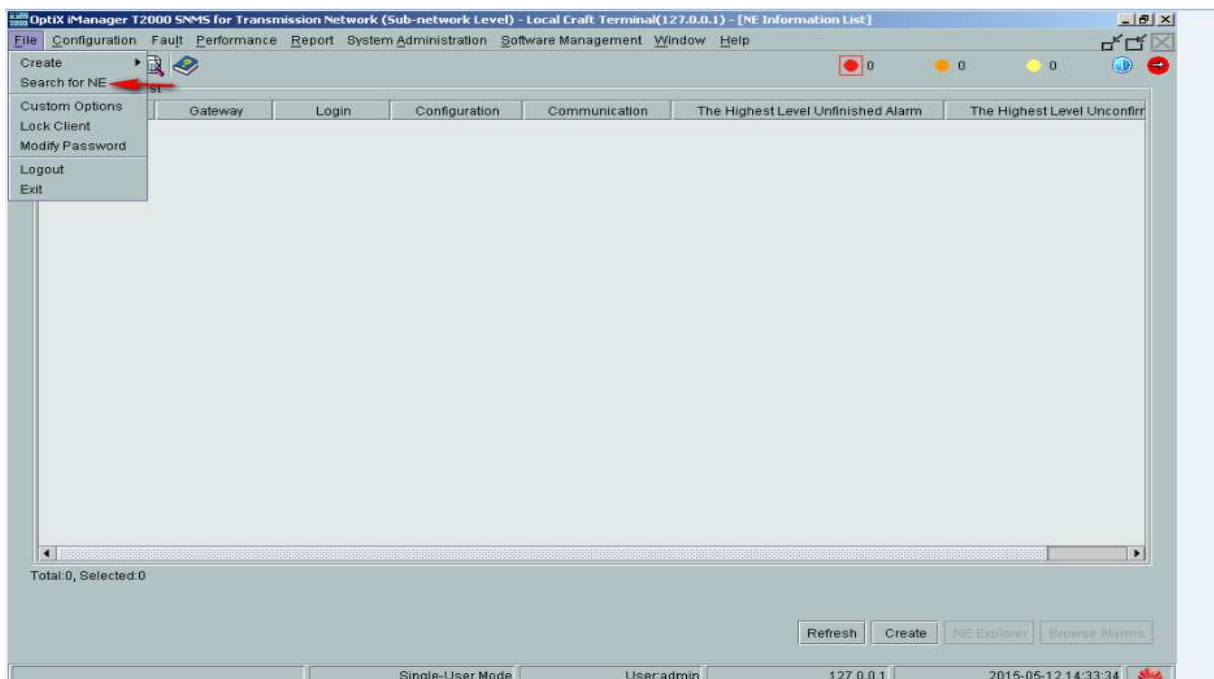


Figure IV.6 : Recherche des éléments du réseau.

II.2.2.1 Affichage des éléments de réseau

Après avoir effectué la recherche des éléments NE la figure IV.7 suivante affiche l'adresse IP de l'équipement.

De 1 jusqu'à 9 représente les sous éléments de NE avec leurs identifiant et adresse IP.

-Le sous élément 5 la ou c'est t'écrit YES représente la gate way c'est elle qui gère les autres éléments reliés.

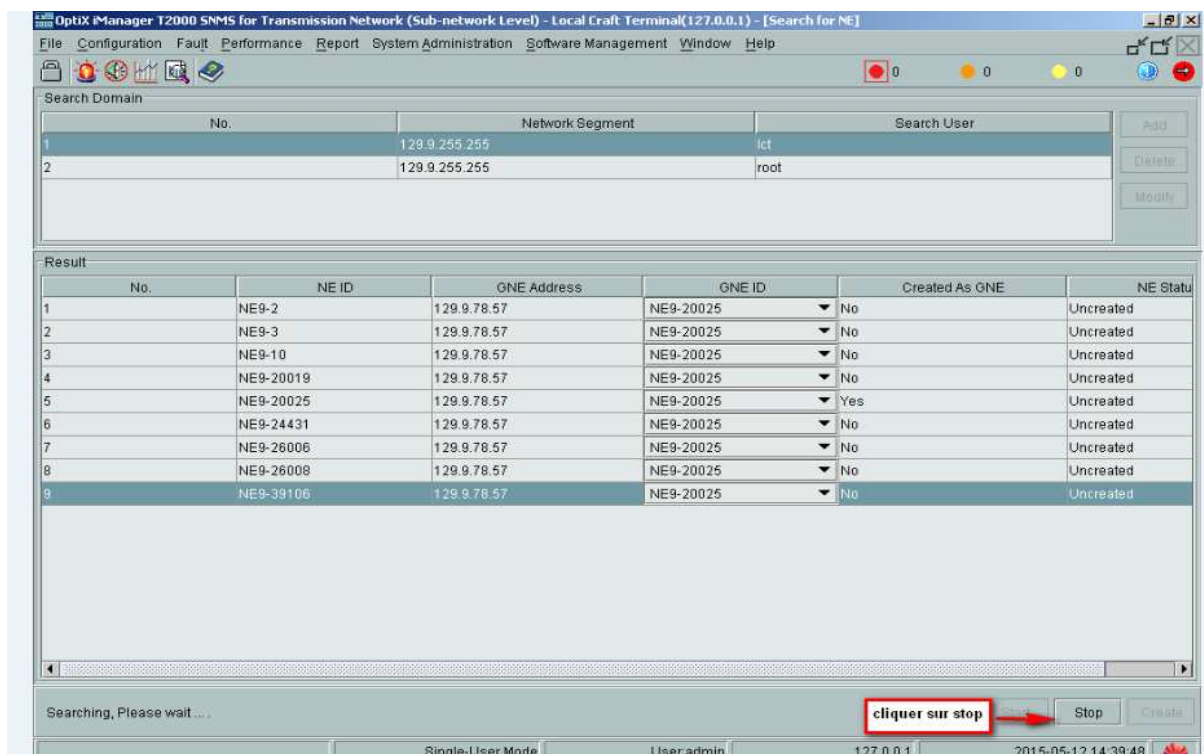


Figure IV.7 : Les éléments du réseau

III. Configuration de l'équipement

Après avoir affiché les éléments de réseau on passe à la configuration qui se fait par l'étape suivante

a. Create

En cliquant sur l'option « create » de la figure précédente, une fenêtre s'affiche a fin d'insérer un «User Name » et un « Password » (figure IV.7), permettant d'accéder à la fenêtre contenant les différentes options notamment celle de configuration (figure IV.7).

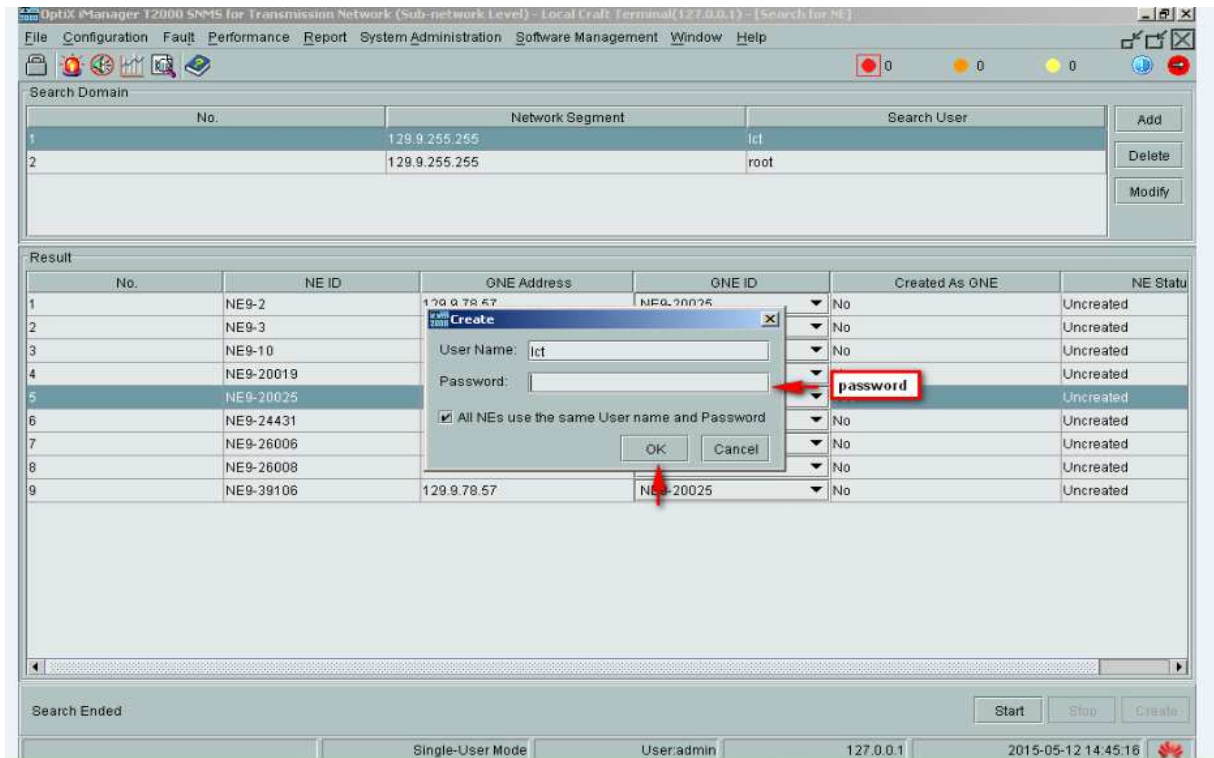


Figure IV.8 : Création des NE.

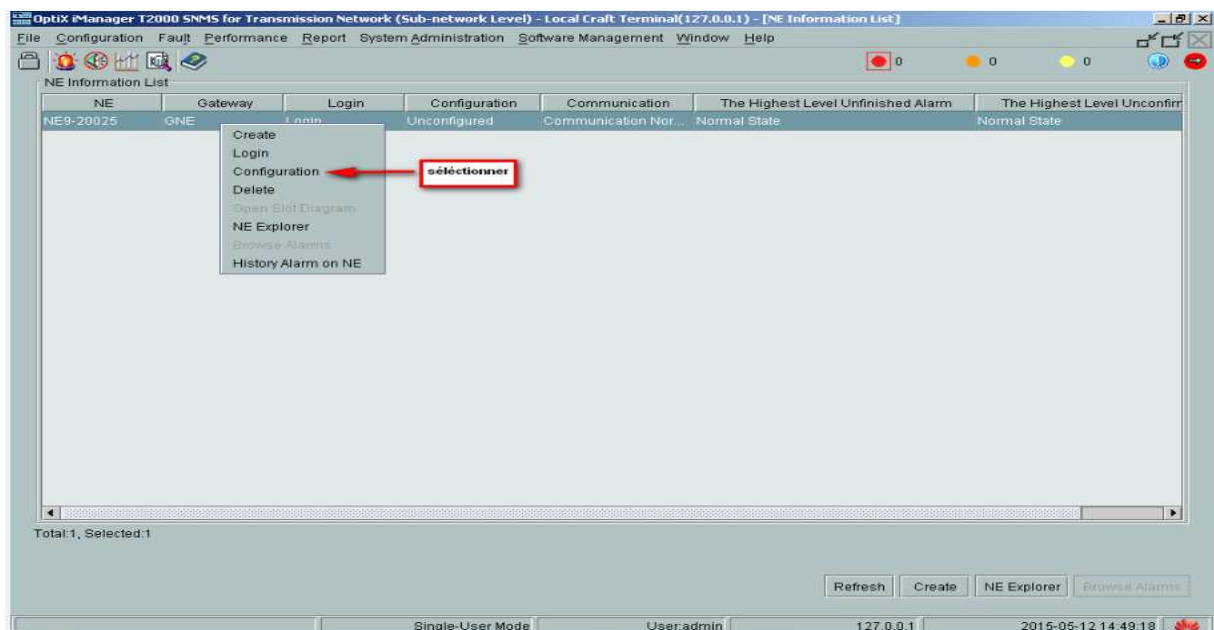


Figure IV.9: Modes de configuration.

b. Modes de configuration

Le mode de configuration de l'équipement se devise en trois choix :

1. Manual Configuration

Se choix est utilisé en cas de création d'une nouvelle configuration.

2. Copy NE Data

Si nous avons la configuration déjà faite, nous pouvons la copier directement sur le matériel.

3. Upload

Cette étape nous permet d'extraire l'ancienne configuration de l'équipement pour d'éventuels changements.

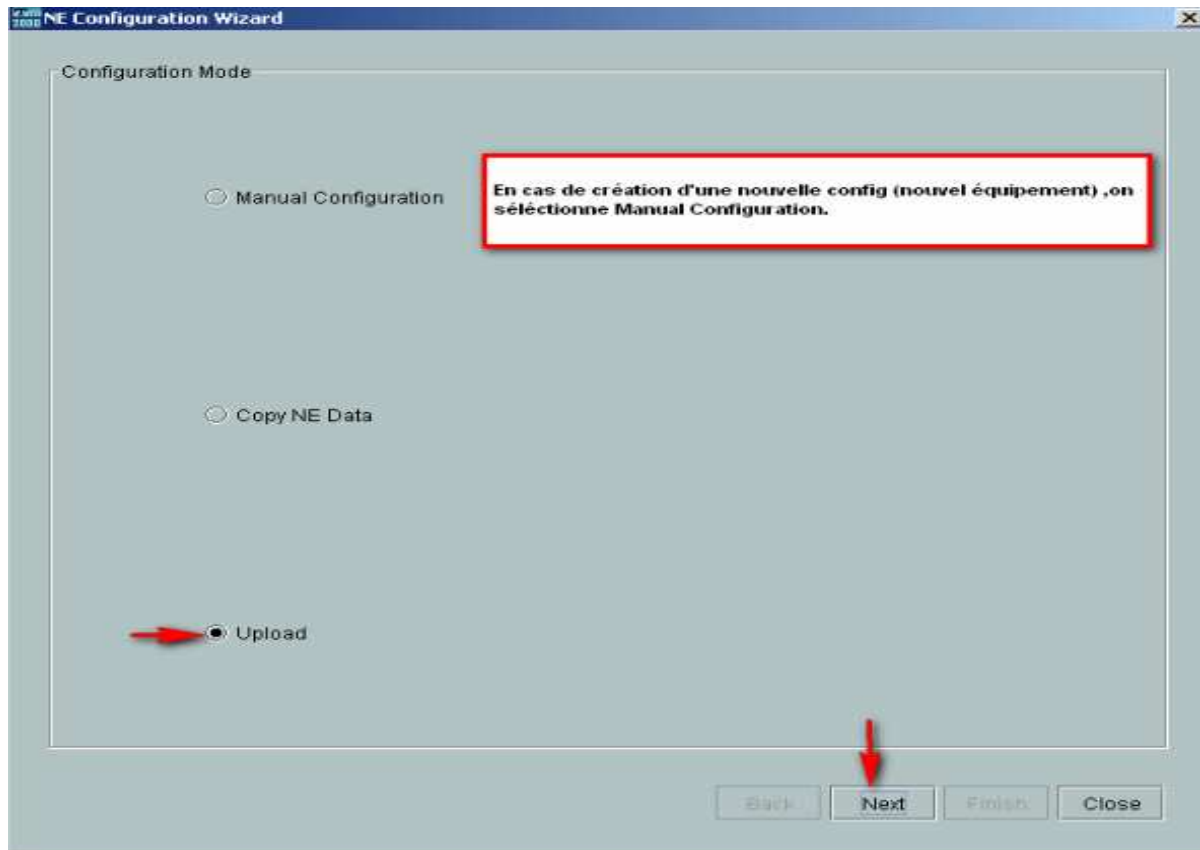


Figure IV.10 : Les différents modes de configuration de l'équipement

III.1 Configuration du SDH

La configuration des différentes cartes de l'équipement se fait en cliquant sur la liaison « Tizi Ouzou –Fréha » et faire les différentes configurations tel que (SDH service configuration, ...etc). (Figure IV .10).

Cette interface nous montre la manière dont est gérée la liaison et permet d'illustrer les différentes méthodes de transmettre le trafic (VC12 pour les MIC's, VC3 pour les liaisons Ethernet ou directement des transferts en VC4).

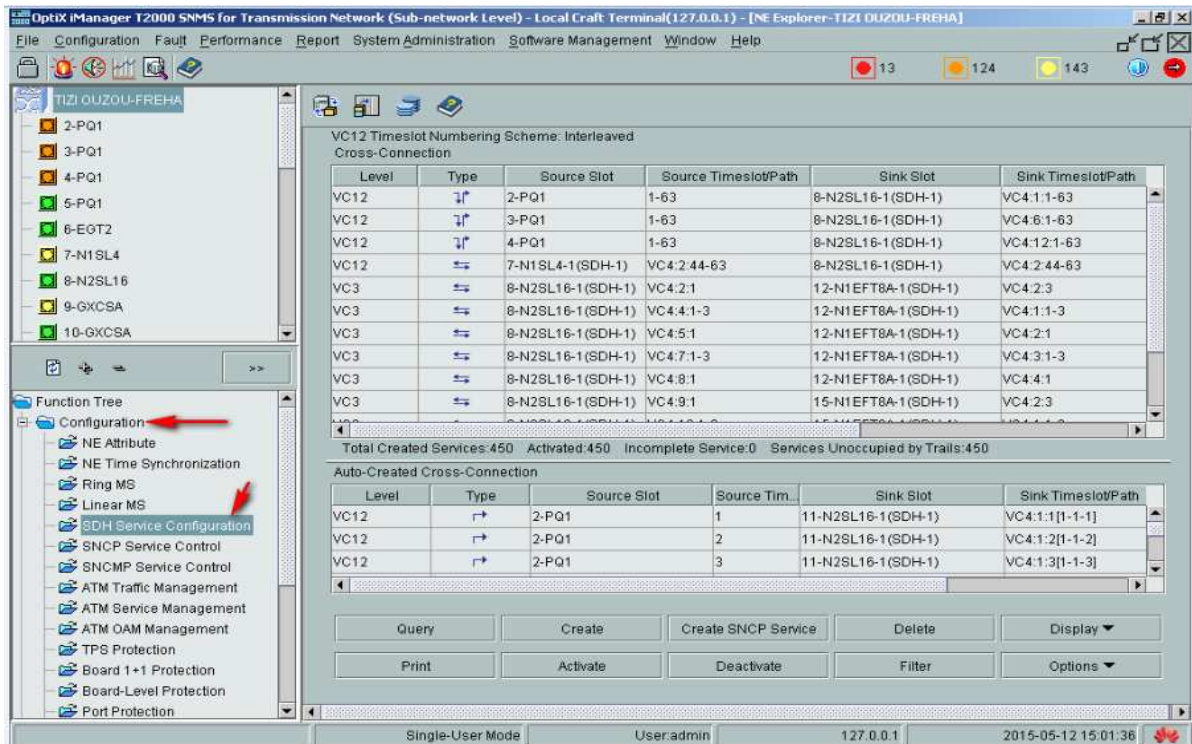


Figure IV.11 : Fenêtre de configuration de différentes cartes.

III.1.1 Création d'un trafic sur une liaison

Permet de gérer un STM à s'avoir les affluents, le routage, et le type de la carte en émission ainsi qu'en réception.

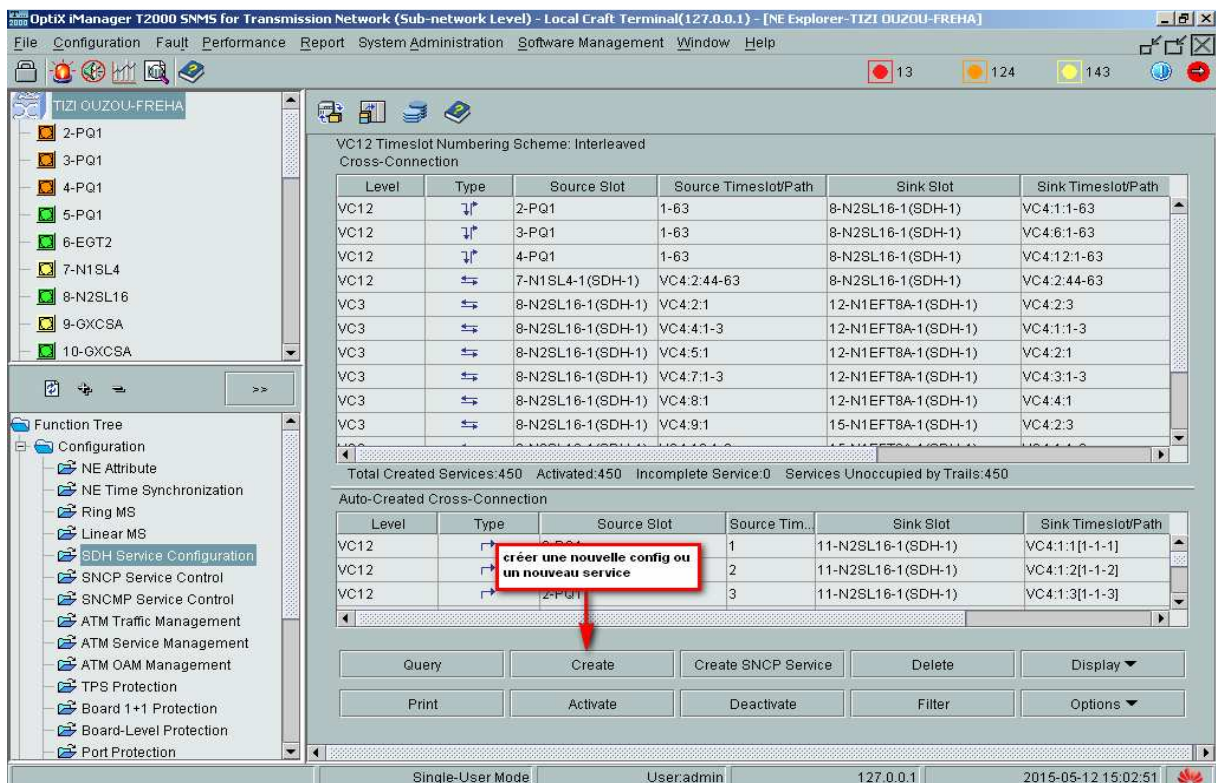


Figure IV.12 : Création d'un trafic.

Pour créer un trafic en cliquant sur create de la (figure IV.12) puis on choisi le type de trafic a envoyé comme le montre la (figure IV.13).

Exemple : création d'un VC-3 avec c'est différents paramètres.

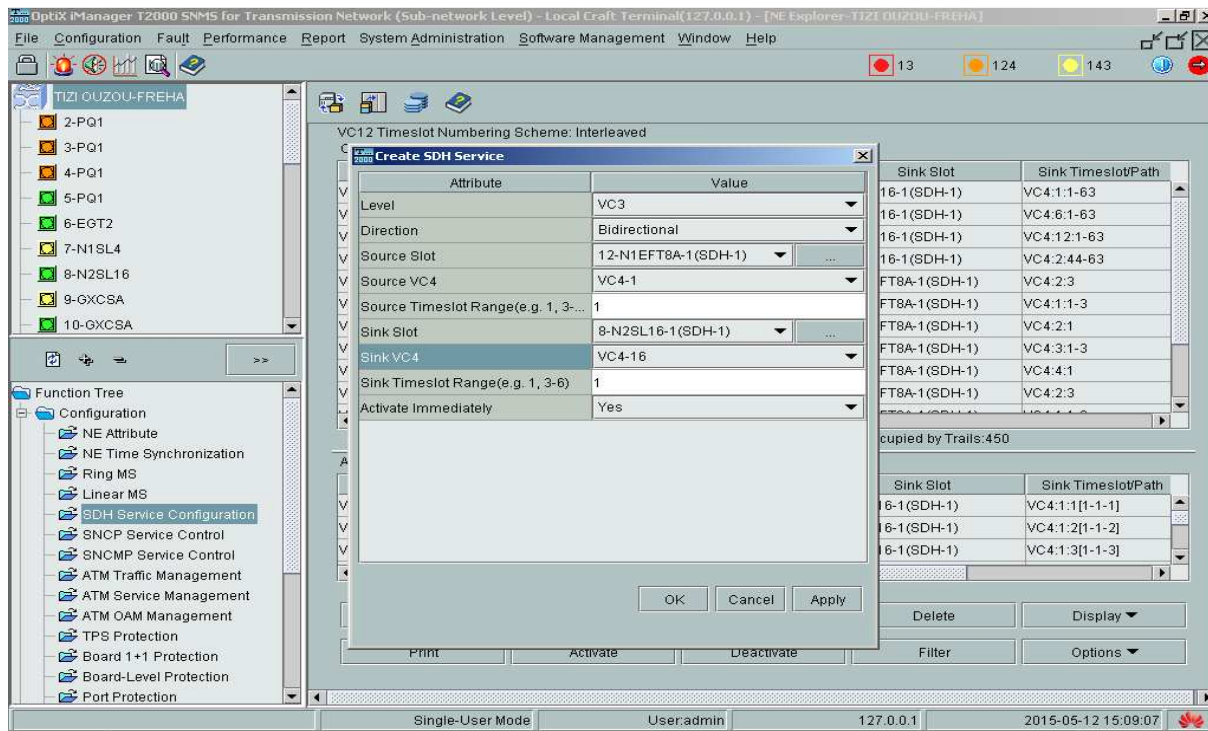


Figure IV.13 : Fenêtre qui nous permet de gérer la trame STM-1.

III.1.2 Traffic Ethernet

Permet de configurer, activer et gérer les ports ethernet (cartes EFT)

- **Activer et désactiver les ports externes**

La (figure IV.14) illustre les démarches à suivre pour gérer les ports Ethernet

On cliquant sur la carte 12-N1EFT8A puis sur Ethernet Interface s'affiche les différents ports.

Exemple : pour le port 4 en cliquant sur le bouton droit puis on choisi soit activé ou désactivé.

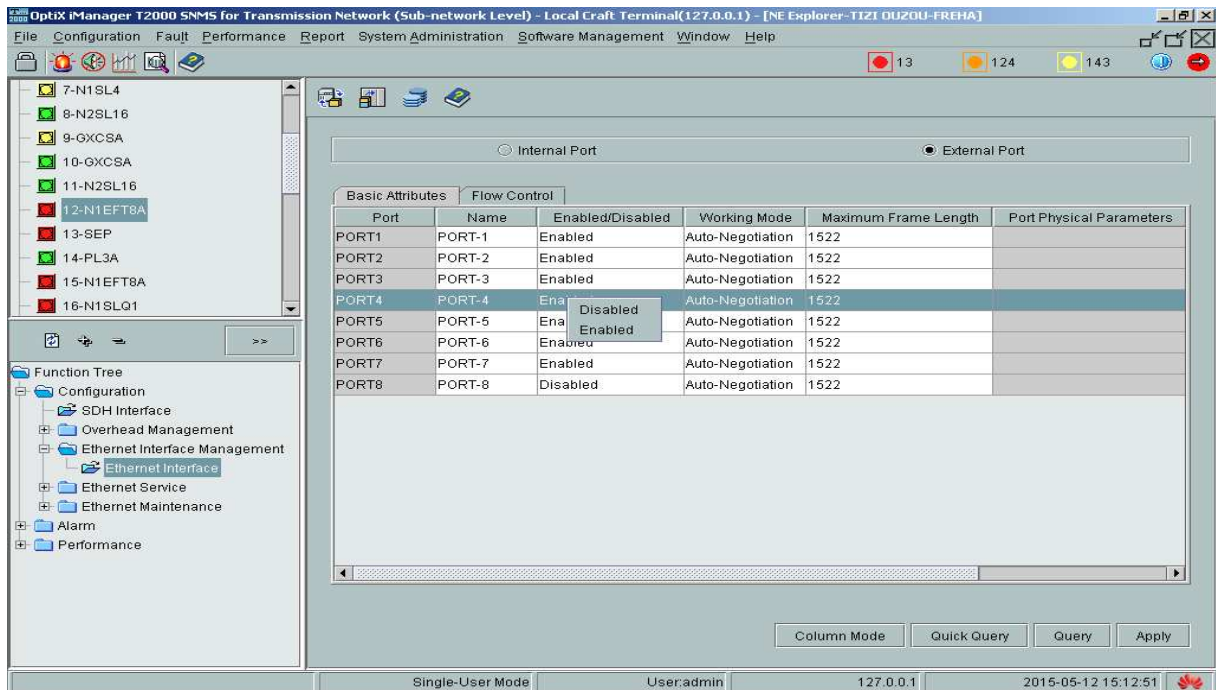


Figure IV.14 : Activation et désactivation des ports externe.

III.1.3 Mesure de la puissance du signal sur le support

On peut mesurer l'affaiblissement sur la ligne comme le montre la figure suivante

On cliquant sur la 8-N2SL16 (la carte de ligne) c'est la ou en vérifier si il 'a de panne ou coupure (qualité de la liaison) puis sur Optical power management, en cliquant sur Query pour affiché l'affaiblissement de la ligne.

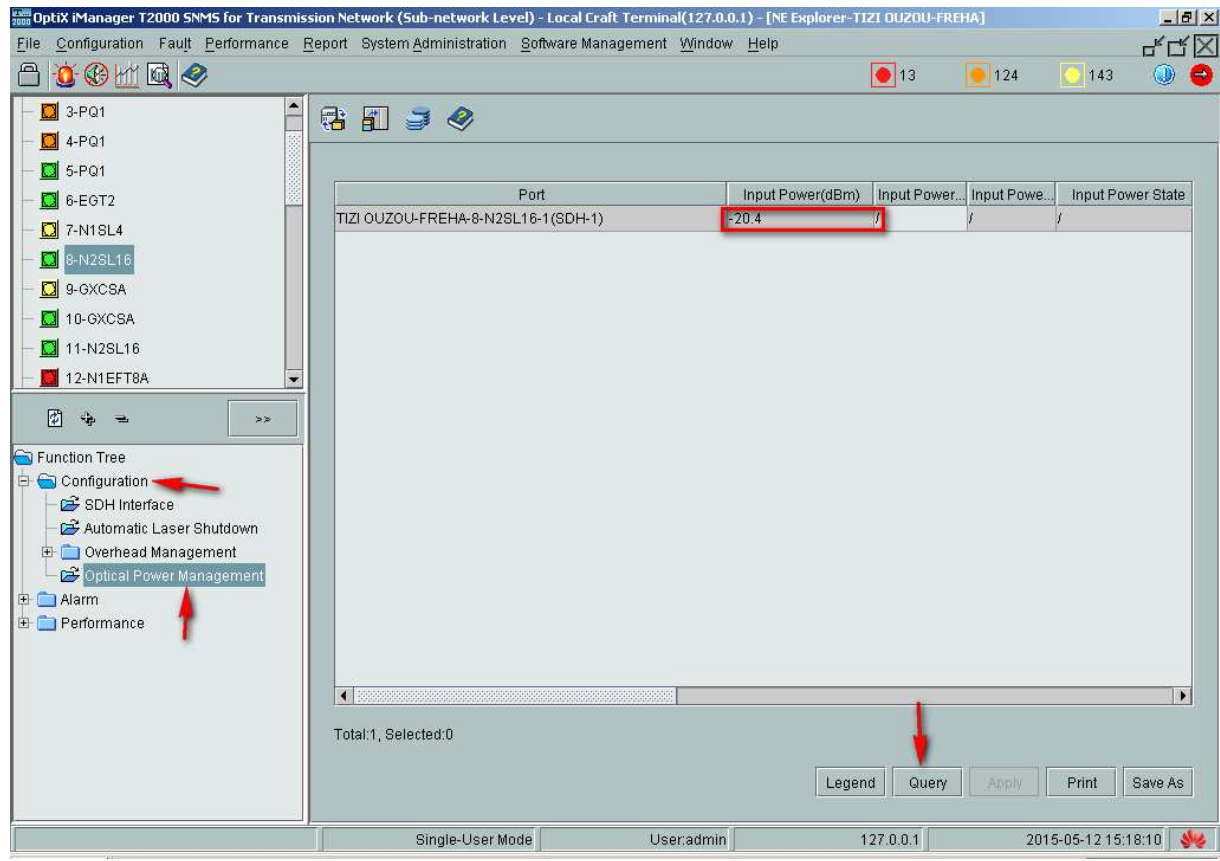


Figure IV.15 : Mesure de puissance du signal optique.

IV. Schéma général du châssis d'un équipement SDH

Voici un schéma (châssis) d'une liaison SDH qui est constitué de différentes cartes, qui assurent le fonctionnement de la configuration.

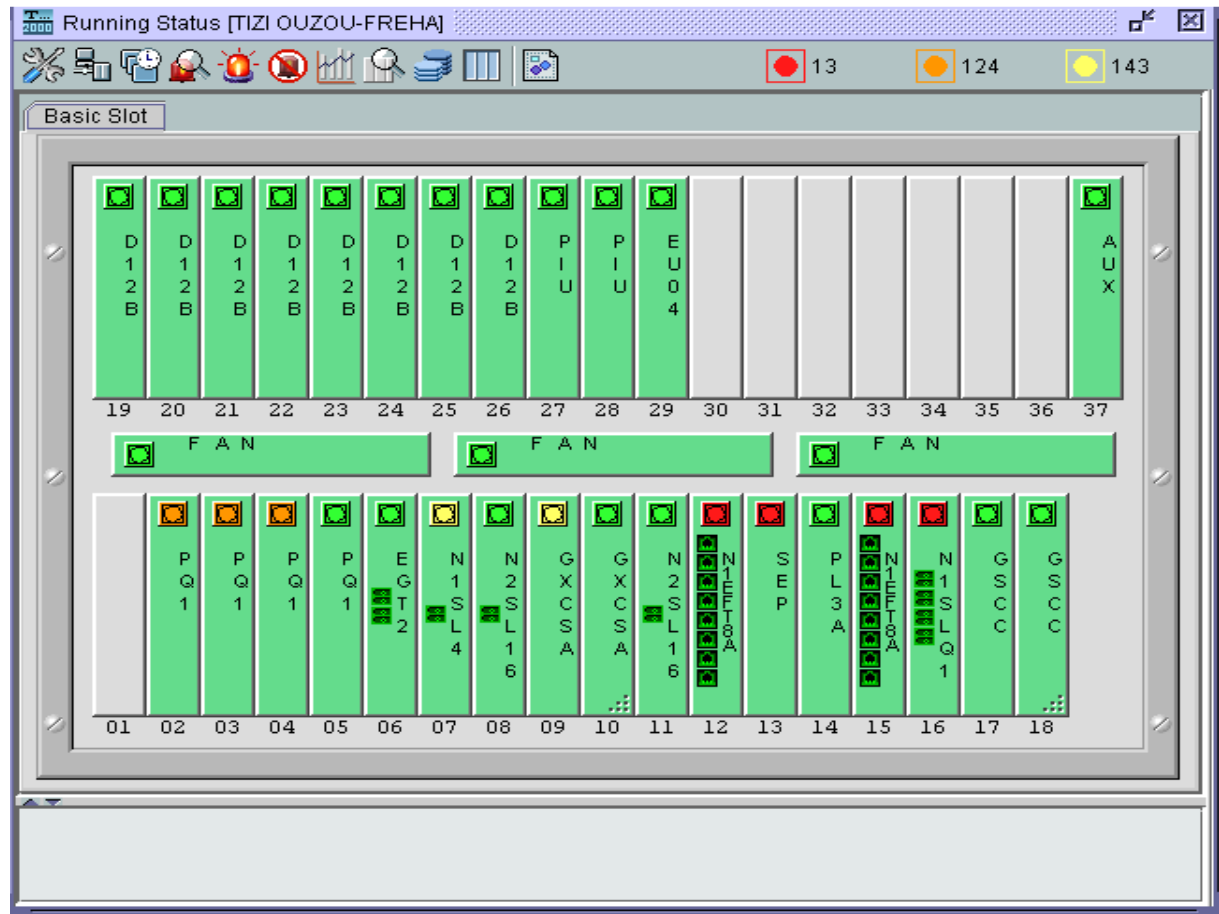


Figure IV.16 : Châssis d'un équipement SDH

V. Conclusion

Au terme de cette étude nous avons constaté l'importance de la hiérarchie SDH et la fibre optique pour produire les différents équipement qui vont apporter au réseau des améliorations de service, de fiabilité et de bon fonctionnement.

Conclusion Générale

Conclusion

Dans les années à venir, les technologies optiques continueront de faire face à la demande croissante de capacité, conséquence nuisible de la généralisation d'Internet et des services plus orientés vers la vidéo par exemple.

Cependant pour faire face à un marché très tendu et une croissance exponentielle, chaque nouvelle étape réclame des progrès majeurs dans le domaine des technologies optiques.

Après cette étude, nous avons sortie avec des résultats importants parmi lesquelles :

- ✓ L'étude de liaison de transmission optique nécessite une étude sur chacun des éléments du signal transmis.
- ✓ la fibre permette le transport de débits nettement supérieurs à ceux que peuvent véhiculer les autres supports, et ceci avec une meilleure qualité de transmission.
- ✓ Le développement des télécommunications à haut débit par fibre optique nécessite la mise au point de dispositifs de plus en plus rapides, à large bande et fonctionnant dans la plage spectrale des amplificateurs à Erbium.
- ✓ l'évolution de SDH permet aujourd'hui d'attendre les recours en terme de débit .mais elle fait une réalité économique qui est l'apparition d'une nouvelle technologie permettant la mise en place de réseau toute optique de type WDM.

En fin, ce mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la transmission sur le fonctionnement et la mise en service des équipements de transmission SDH via fibre optique.

Bibliographie

Bibliographie

[1] :Philippe Surmely et J.Fehlbaum, La fibre optique technologies et application, Edition Masson, CI 179.

[2] :Ivain KESTELOOT ,Stephane RZETELNY ,nouvelle technologie Réseaux SDH (Synchronous Digital Hierarchy).

[3] :Boubrik Nacer et Chamek Said, Etude et application de la transmission SDH via fibre optique, mémoire fin d'étude promotion 2008,(ELN 2009-16).

[4] :Irene et Michel Joindot et al, Les télécommunication par fibre optique, CI :179- 4em .

[5] :Sidi Ali Mebarek, Télécommunication optique (source, fibre et détecteurs)

Edition office de la publication universitaire, 2001.

[6] :Yasuhari Suematsu-Ken-Ichi-IGA ,Transmission sur fibre optique (technologie générale) Masson, CI 305.

[7] :P.G.Fontolliet, Système de télécommunication base de transmission, DUNOD collection CNET-ENST.

[8] : Serge Ungar, Fibre optique théorie et application.

[9] : Etude de la hiérarchie numérique synchrone SDH et sont application dans le réseau GSM, mémoire fin d'étude (ingénieur) promotion 2007, cote : ING ELN 2007.1^{er} exp.

[10] :Kasmi Massiva et blaid Katia, thèse DUA , Système de transmission SDH par fibre optique 2008/2009.

Résumé

En effet, la fibre optique est une innovation relativement récente qui a rapidement pris un rôle prépondérant dans le monde des télécommunications pour sa capacité à véhiculer un grand nombre d'information sur une longue distance.

Les fibres optiques ont pour rôle principal de propager la lumière avec un affaiblissement aussi faible que possible d'un module d'un émetteur à un module récepteur. La principale limitation des systèmes de transmission sur fibres optiques est aujourd'hui l'atténuation et la dispersion du signal occasionnée par la propagation dans la fibre optique.

Les systèmes optiques font appelle à une technologie souvent très complexe et pointue. Il s'avère nécessaire de pouvoir prédire les performances et choisir les composants avant de la réalisation d'un système. Des études de cas sont effectuées à l'aide du logiciel de simulation (T2000).

Cette étude se compose de deux sous ensembles.

Dans un premier temps, nous avons étudié la caractéristique d'une liaison de transmission par fibre optique.

Dans un second temps, nous avons utilisé le logiciel de simulation T2000, outil qui permet de modéliser, simuler, analyser et concevoir une transmission Complète de communication optique.

Mots clés : Fibre optique, liaison de transmission, composants optique , SDH, logiciel T2000.