

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

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



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

**Mémoire de Fin d'Etudes  
de  
MASTER ACADEMIQUE**

Domaine : **Sciences et technologies**

Filière : **Génie Electrique**

Spécialité : **Réseaux et Télécommunications**

*Présenté par :*  
**KABENE DYHIA**

Mémoire dirigé par M<sup>r</sup> AIT BACHIR UMMTO et M<sup>r</sup> TIGHDINE (Algérie Télécom)

Thème

**ETUDE ET CONFIGURATION D'UNE  
LIAISON SDH 2.5GB/S**

**Promotion 2014/2015**

# REMERCIEMENTS

*Ce travail a été effectué dans le cadre de la préparation du diplôme de master académique en réseaux et télécommunications Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.*

*Je tiens à exprimer mes profondes gratitudee et mon immense respect a mon encadreur Mr. TIGHEDINE AMAR pour la qualité de son encadrement, sa disponibilité, ses hautes qualités morales et scientifiques et pour m'avoir découvrir un domaine de recherche si passionnant, et a toute l'équipe de la société ALGERIE TELECOM pour leurs soutien.*

*Mes vifs remerciements s'adressent également a mon promoteur Mr. AIT BACHIR pour ses conseils précieux et son soutien affectif durant mon étude et réalisation de ce projet.*

*Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents qui ont œuvrés pour ma réussite, leur soutien, tous les sacrifices consentis, et leurs précieux conseils, pour toute leur assistance et leur présence dans ma vie, reçoivent a travers ce travail soit-il, l'expression de mes sentiments et mon éternelle gratitude*

*A mes très chers frères : **HOCINE, AHMED** et sa femme **SABRINA**.*

*A toute ma famille et mes amis (e), et à tous ceux qui me sont chers.*

# Sommaire

---

Glossaire

Introduction générale.....1

## CHAPITRE I

1. Préambule ..... 2

2. Transmission numérique MIC (Modulation Impulsion Codage) ..... 2

2.1. L'échantillonnage..... 3

2.2. La quantification ..... 3

3.3. Le codage ..... 4

2.4. Structure d'une trame MIC de premier ordre..... 4

2.4.1. Le multiplexage a 2048 et 1544kbits/s..... 5

4.4.1.1. Comparaison des deux normes Européenne et Américaine ..... 5

2.4.2. Hiérarchie digital plésiochrone PDH ..... 6

2.4.3. La hiérarchie SONET ..... 7

2.4.4. La hiérarchie SDH..... 7

3. Le modèle OSI..... 8

3.1. La composante du modèle OSI ..... 8

3.1.7. La couche (7) application ..... 10

3.2. Le protocole IP ..... 10

3.2.1. Les datagrammes..... 11

3.2.2. Inspiration du modèle TCP/IP..... 11

3.2.3. Le rôle des différentes couches sont TCP/IP ..... 12

# Sommaire

---

3.2.4. Le routage IP .....	13
4. Mode transfert asynchrone .....	13
4.1. Caractéristiques et contraintes aux quelles doit répondre ATM .....	14
4.2. Architecture ATM .....	14
4.2.1. La couche ATM .....	15
4.2.2. La couche physique : Synchronous Data Hiérarchy (SDH) .....	16
4.2.3. La couche AAL : (ATM Adaptation Layer) .....	16
4.2.4. Présentation des couches .....	17
4.3. Connexion entre couches .....	17
5. Origine de la fibre optique .....	18
5.1. Eléments caractérisant une fibre optique .....	18
5.1.1. La bande passante .....	18
5.1.2. L'indice de réfraction .....	19
5.1.3. Théorèmes optiques .....	19
5.1.3.1. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion .....	19
5.1.3.2. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction .....	19
5.2. Equation de Propagation et différents types de fibres optiques .....	20
5.3. Principe de Guidage Dans les Fibres .....	21
5.4. Les caractéristiques de la fibre optique .....	22
5.4.1. L'ouverture numérique .....	22

# Sommaire

---

5.4.2. L'atténuation.....	23
5.4.3. La dispersion .....	24
5.4.3.1. Notion de dispersion.....	24
5.5. Les types de fibre optique.....	26
5.5.1. La fibre multimode .....	26
5.5.2. Fibre Optique Multimode a Saut d'Indice.....	26
5.5.3. Fibre Optique Multimode a Gradient d'Indice .....	27
5.5.4. La fibre Optique Monomode .....	27
5.5.5. Comparaison entre les types de fibre optique.....	28
5.6. Avantage de la fibre optique.....	28
6. Conclusion .....	29

## CHAPITRE II

1. Préambule.....	30
2. Principe de fonctionnement et multiplexage.....	30
2.1. Limitations du PDH : .....	31
2.2. Evolution de la PDH vers la SDH .....	32
3. Définition de la SDH :.....	33
3.1. La trame de base STM-1 (SDH) .....	34
3.2. Structure de la trame de base STM-1 .....	34

# Sommaire

---

3.2.1. L'en-tête de section de section régénérateur(RSOH) .....	35
3.2.2 .L'en-tête de section de multiplexage (MSOH) .....	36
3.3.Notion de pointeur .....	38
3.3.1. Principe des pointeurs .....	38
3.3.1.1. Justification du pointeur .....	38
3.4. Synchronisation du réseau SDH .....	40
4. le multiplexage SDH .....	41
4.1. Les entités traitées par le SDH .....	42
4.1.1. Le conteneur .....	42
4.1.2. Le conteneur virtuel VC-n .....	42
4.1.2.1. Notion du POH (Path over Head) .....	42
4.1.3. L'unité d'affluent TU-n .....	44
4.1.4. Le Groupe d'Unité d'Affluent TUG-n : .....	45
4.1.5. L'Unité Administrative AU-n : .....	45
4.2. Structure de la SDH : .....	46
4.2.1. Insertion d'affluent 140Mbits/s dans un STM-1 .....	46
4.2.3..Liaison physique optique .....	47
4.3. Le réseau SDH : .....	48
4.3.1. Les équipements mis en œuvre dans le réseau SDH.....	48
4.3.1.1. Les régénérateurs .....	48
4.3.1.2.Notion de multiplexeurs SDH.....	49
4.3.1.3. Schéma d'un canal de transmission.....	51
4.4. Les topologies du réseau .....	51
4.4.1. Topologie point a point .....	53
4.4.2. Topologie en anneau .....	53
4.4.2.1. Les anneaux SDH : .....	53

# Sommaire

---

4.5. La Sécurisation dans SDH.....	55
4.5.1. Drag and Drop.....	55
4.6. La protection dans les réseaux SDH .....	56
4.6.1. La protection de sous-réseau SNCP ( Sub-Network Connexion Protection) (1+1) .....	56
4.6.2 .La protection de la section de multiplexage MSP ( Multiplexe Section Protection) : .....	56
4.6.3.1. La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS-Dedicated Protection Ring) .....	57
5. Conclusion .....	58

## CHAPITRE III

1.Préambule .....	59
2. Dimensionnement des sites .....	59
3. Dimensionnement de la liaison CA-2 a 2.5Gb/s .....	59
4. Topologie de la liaison SDH .....	62
4.1. Type d'éléments utilisés lors de la transmission pour chaque site .....	62
4. Architecture du réseau .....	63
5. Conclusion:.....	64

## CHAPITRE IV

1. Aperçu sur la société HUAWEI .....	65
2. Définition de l'équipement.....	65
3. Spécification de l'OPTIX OSN 3500 .....	66
4. Présentation de la simulation .....	68
4.1. Description de T2000 .....	68
4.2. Description de LCT .....	68
5. Etapes de la configuration .....	69

# Sommaire

---

5.1. Lancer T2000 .....	69
5.2. Recherche NEs .....	70
5.3. Paramétrage des NEs .....	70
5.4. Création des NEs .....	72
5.5. Configuration des NEs .....	74
5.6. Attribution des cartes .....	74
5.7. Création d'un nouveau service .....	76
5.8. Représentation du châssis .....	80
5.9. Résultats de la configuration .....	86
6. Conclusion.....	87
Conclusion générale.....	88
Références bibliographiques	

## Liste de figures

---

<b>Figure.1.</b> Principe de la transmission .....	3
<b>Figure.2 .</b> Codage des échantillons.....	4
<b>Figure.3.</b> Structure d'une trame MIC.....	4
<b>Figure.4.</b> Les différents débits de la PDH.....	6
<b>Figure.5.</b> Les couches OSI.....	8
<b>Figure.6.</b> Rôle des couches OSI dans le dialogue.....	10
<b>Figure.7.</b> Utilité des couches OSI et TCP /IP lors d'une communication internet.....	13
<b>Figure .8.</b> Architecture du réseau ATM.....	15
<b>Figure.9.</b> Les couches ATM.....	17
<b>Figure.10.</b> Les canaux de communication ATM.....	17
<b>Figure.11.</b> Structure de la fibre optique.....	18
<b>Figure.12.</b> Principe de la réflexion et la réfraction dans la fibre.....	20
<b>Figure.13.</b> Propagation de l'onde électromagnétique dans la fibre.....	22
<b>Figure.14.</b> Ouverture numérique dans la fibre.....	23
<b>Figure.15.</b> Atténuation des fibres.....	24
<b>Figure.16.</b> La dispersion modale.....	25
<b>Figure.17.</b> Propagation des ondes dans une fibre multimode a saut d'indice.....	26
<b>Figure.18.</b> Propagation des ondes dans une fibre multimode a gradient d'indice.....	26
<b>Figure.19.</b> Propagation fondamental dans une fibre monomode a saut d'indice.....	27
<b>Figure.20.</b> La hiérarchie numérique PDH.....	31
<b>Figure.21.</b> Occupation de la SDH dans le modèle OSI.....	34
<b>Figure.22.</b> Structure de la trame de base STM-1.....	35
<b>Figure.23.</b> Les octets de section de régénération RSOH.....	36
<b>Figure.24.</b> Les octets de section de multiplexage MSOH.....	37
<b>Figure.25.</b> Incrémentation du pointeur .....	39
<b>Figure.26.</b> Décrémentation du pointeur.....	39
<b>Figure.27.</b> Distribution de l'horloge.....	41

## Liste de figures

---

<b>Figure.28.</b> Les niveau de multiplexage SDH .....	42
<b>Figure.29.</b> Conception du conteneur virtuel.....	42
<b>Figure.30.</b> HPOH (High Path Over Head).....	43
<b>Figure.31.</b> Schéma du mode Tandem.....	43
<b>Figure.32.</b> LPOH(Low Path Over Head).....	44
<b>Figure.33.</b> Conception de la TU.....	44
<b>Figure.34.</b> Conception de la TUG.....	45
<b>Figure.35.</b> Unité administrative AUG.....	45
<b>Figure.36.</b> Structure du multiplexage SDH.....	46
<b>Figure.37.</b> Structure du VC-4.....	47
<b>Figure.38.</b> Schéma général d'un réseau SDH.....	48
<b>Figure.39.</b> Régénérateur.....	48
<b>Figure.40.</b> Multiplexeur SDH.....	49
<b>Figure.41.</b> Multiplexeur d'Insertion et Extraction.....	49
<b>Figure.42.</b> Multiplexeur Terminal Simplifié.....	50
<b>Figure.43.</b> Brasseur SDH.....	50
<b>Figure.44.</b> Canal de communication.....	51
<b>Figure.45.</b> Infrastructure du réseau SDH.....	52
<b>Figure.46.</b> Trames STM-4 et STM-16.....	53
<b>Figure.47.</b> Réseaux arborescent et maillé.....	53
<b>Figure.48.</b> Structure de la topologie point a point.....	53
<b>Figure.49.</b> Architecture en anneau unidirectionnel.....	54
<b>Figure.50.</b> Architecture en anneau bidirectionnel.....	54
<b>Figure .51.</b> Sécurisation Drag and Drop dans la SDH.....	55
<b>Figure.52.</b> Protection linéaire 1+1.....	56
<b>Figure.53.</b> Protection linéaire 1 :1.....	57
<b>Figure.54.</b> Protection linéaire M : N.....	57

## Liste de figures

---

<b>Figure.55.</b> Topologie de la liaison.....	61
<b>Figure.56.</b> Representation des sites.....	63
<b>Figure.57.</b> Structure de l'équipement HUAWEI OSN 3500.....	66
<b>Figure.58.</b> Lancer le serveur.....	70
<b>Figure.59.</b> Lance le client .....	70
<b>Figure.60.</b> Authentification du client/serveur.....	70
<b>Figure .61.</b> Recherche des éléments connectés au réseau.....	71
<b>Figure.62.</b> Paramètres d'un NE.....	71
<b>Figure.63.</b> Apparition des NE et fin de la recherche.....	72
<b>Figure.64.</b> Création des éléments.....	73
<b>Figure.65.</b> Ouverture du LCT lors de la création des NEs.....	73
<b>Figure.66.</b> Configuration des NEs créés.....	74
<b>Figure.67.</b> Chargement des configurations pour configurer les cartes.....	75
<b>Figure.68.</b> Création d'un nouveau service.....	76
<b>Figure .69.</b> Création du nouveau service.....	76
<b>Figure.70.</b> Création du service SDH .....	77
<b>Figure.71.</b> Création du service Ethernet.....	78
<b>Figure.72.</b> Activation du port extérieur (physique).....	78
<b>Figure.73.</b> Tester le niveau du signal.....	79
<b>Figure.74.</b> Vu de face des cartes de l'équipement .....	80
<b>Figure.75.</b> Bouclage d'affluents.....	81
<b>Figure.76.</b> Création d'un service SDH en VC3 a TIZI-OUZOU.....	82
<b>Figure.77.</b> Configuration du port FE 1 a TIZI-OUZOU.....	82
<b>Figure.78.</b> Création du service SDH a FREHA.....	83
<b>Figure.79.</b> Création du service SDH a TIGZIRT.....	83
<b>Figure.80.</b> Création du 2eme VC3 a TIGZIRT.....	84

## Liste de figures

---

<b>Figure.81.</b> Configuration Ethernet a TIGZIRT.....	84
<b>Figure.82.</b> Chargement du 3eme port FE avec les 100Mb/s.....	85
<b>Figure.83.</b> Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de TIZI-OUZOU.....	86
<b>Figure.84.</b> Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de FREHA.....	86
<b>Figure.85.</b> Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de TIGZIRT.....	87

## Liste de tableaux

---

<b>Tableau.1.</b> Comparaison des normes Américaines et Européennes.....	5
<b>Tableau.2.</b> Les différents débits de la SONET .....	7
<b>Tableau.3.</b> Inspiration du TCP/IP du modèle OSI.....	11
<b>Tableau.4.</b> Comparaison des deux types de fibre.....	28
<b>Tableau.5.</b> Les différents débits de la hiérarchie PDH.....	31
<b>Tableau.6.</b> Répertoire des débits de la Hiérarchie SDH .....	41
<b>Tableau.7 .</b> Type de STM utilisé pour chaque site.....	60
<b>Tableau.8.</b> Spécifications de l'équipement.....	67

AAL: ATM Adaptation Layer

ADM: Add Drop Multiplexer

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line

AM: amplitude modulation

APS: Automatic Protection Switching

ATM: Asynchronous Transfert Mode

AU: Administrative Unit

AUG: Administrative Unit Group

ASON :Automatically Switching Optical Network

C.C.I.T.T: Consultative Comitee for International Telephony and Telegraphy

CS: Convergence Sublayer

DCC: Data Communication Channel

DDN: Digital Data Network

DNU: Do Not Use

DSC: Digital Switching Center

DXI: Digital Cross Interface

DXC: Digital Cross Connect

FE: Fast Ethernet

FH: Faisceaux Hertziens

FM: Frequency Modulation

FO: Fibre Optique

GSM: Global System for Mobile

HO: High Order

HPOH: High Path over Head

ISDN: Integrated Service Digital Network

IT: Interval de Temps

ITU: International Telecommunication Union

IP: Internet Protocol

LO: Low Order

LPOH: Low Path over Head

MIC: Modulation Impulsion Codée

MIE : Multiplexeur Insertion -Extraction

MS AIS : Multiplex Section Alarm Indication

MS DPR: MS-Dedicated Protection Ring

MSOH: Multiplex Section over Head

MSP : Multiplex Section Protection

MS RDI : Multiplex Section Remote Defect Indication

MTS : Multiplexeur Terminal Simplifié

MVT : Mot de Verrouillage Trame

NE: Network Element

NNI: Network to Network Interface

NRZ : No Return to Zero

OC : Optical Container

OSI: Open System Interconnection

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy

POH: Path over Head

PRC: Primary Reference Clock

QDS: Qualities De Service

RSOH: Regeneration Section over Head

SAN: Storage Area Network

SAR: Segmentation and Reassembly

SDH: Synchronous Digital Hierarchy

SNCP: Sub-Network Connexion Protection

SONET: Synchronous Optical Network

SRC: Secondary Reference Clock

STM: Synchronous Transport Module

TU: Tributary Unit

TC: Transmission Convergence

TUG : Tributary Unit Group

UNI: User to Network Interface

VCC: Virtual Channel Connection

VCI: Virtual Channel Identifier

VPC: Virtual Path Connection

VPI: Virtual Path Identifier

WDM: Wavelength Division Multiplex

# *Introduction générale*

---

Les réseaux de transport optiques constituent aujourd'hui l'infrastructure de base des systèmes de communication modernes. La croissance du trafic, la complexité des systèmes et l'arrivée de plusieurs nouveaux acteurs dans le domaine des télécommunications donne à la planification des grands réseaux une importance toute particulière.

Ainsi le réseau permet l'échange des informations telles que la voix, l'image, la vidéo, la messagerie et l'internet. L'apparition de nouvelles technologies permettant des débits plus élevés et entraîne l'élaboration et la mise sur le marché d'applications toujours plus gourmandes en ressources. La fibre optique s'inscrit dans cette mouvance et apporte des améliorations considérables en termes de débits.

La technologie SDH représente un standard international pour les télécommunications à haut débit dans les réseaux optiques de transmission, basée sur le multiplexage temporel, et conçue pour gérer les communications en mode circuit de bout en bout pour transporter des flux IP, ATM, DSL, Ethernet, PDH, etc. Elle peut être déployée dans les différents niveaux de réseaux de transport : les réseaux d'accès qui représentent un point d'entrée pour le trafic usager, les réseaux métropolitains qui interconnectent des réseaux d'accès et assurent le transport de trafic à l'échelle des régions, et les réseaux de cœurs qui s'occupent de l'agrégation et l'acheminement des données à grande échelle, se basent principalement sur une infrastructure à fibres optiques, permettant des capacités de transmission importantes de l'ordre de dizaines de Gb/s.

Pour illustrer ce travail, on dira que ce mémoire est présenté à travers quatre chapitres suivants :

Le premier chapitre est réservé pour des généralités sur les réseaux de transports optiques.

Le second chapitre est un aperçu sur la technologie SDH et qui, explique de manière profonde son évolution, ses caractéristiques, sa structure, aussi l'importance de son architecture et ses topologies qu'il a apporté pour le domaine de télécommunication.

Le troisième chapitre présente l'implémentation de la liaison SDH étudiée sur chaque site, son architecture et sa topologie, et la détermination de tous les éléments inclus lors de la transmission des trafics échangés entre ces derniers.

Le dernier chapitre montre une conception d'une liaison SDH 2.5 Gb/s pour ALGERIE TELECOM en utilisant le simulateur T2000.

## 1. Préambule :

Les réseaux de télécommunications représentent un ensemble de moyens matériels et logiciels qui offrent des services de manière fidèle dans un délai aussi court que possible.

L'évolution des capacités de transport des fibres optiques permet de considérer complètement les infrastructures physiques actuellement à 2.5Gb/s, ATM, IP, et 10 Gb/s, SONET, SDH, les réseaux optiques basés sur l'émergence d'une couche physique fournissent ne plus grande une plus grande capacité et réduisent les coûts pour la mise en œuvre de nouvelles applications.

Dans ce chapitre, nous allons voir tous ces réseaux, et leurs caractéristiques et leur importance dans la télécommunication.

## 2. Transmission numérique MIC (Modulation Impulsion Codage)

La modulation par impulsion et codage MIC est une représentation numérique d'un signal analogique, cette transmission s'effectue en trois étapes essentielles : échantillonnage, quantification et codage. Cette transmission consiste à échantillonner l'information analogique (conversation téléphonique, signal vidéo, données ...etc.) ensuite convertir l'amplitude de chaque échantillon en code binaire pour qu'il puisse être transmis sur le support de transmission.

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

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

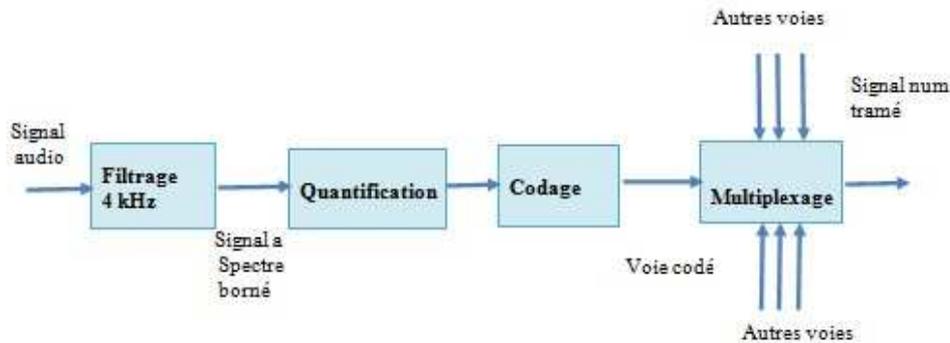


Figure .1.Principe de la transmission

### 2.1. L'échantillonnage :

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

### 2.2. La quantification :

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

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

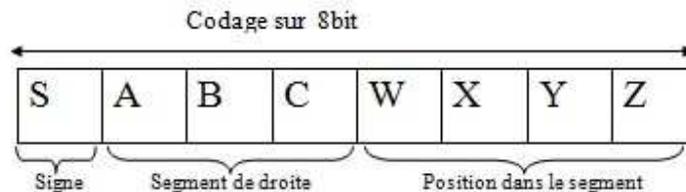
Lors de la quantification on rencontre deux défauts majeurs :

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

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

**2.3. Le codage :**

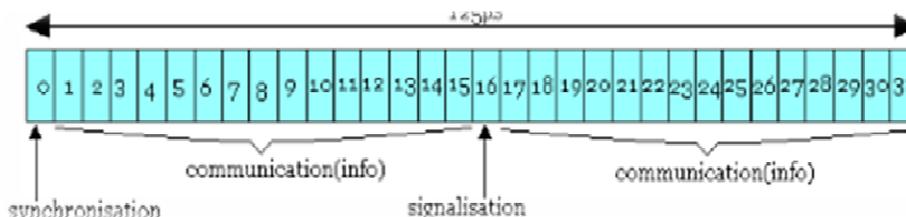
Le codage consiste a coder les échantillons prélevé lors de la phase quantification, et pour ce faire chaque échantillon est codé sur 8 bit (mot binaire) dont le premier bit est affecté au signe de l'échantillon et les sept bits servent à coder l amplitude d échantillon.



**Figure .2 .Codage des échantillons**

**2.4. Structure d'une frame MIC de premier ordre :**

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



**Figure.3.Structure d'une frame MIC**

- ✓ IT1, IT2, IT3,....., IT15, IT17,....., IT31 : représente les intervalles de temps des voies de communications.
- ✓ IT0 : représente l intervalle de temps de verrouillage de frame (synchronisation).
- ✓ IT16 : représente l intervalle de temps de signalisation des voies [1].

**2.4.1. Le multiplexage a 2048 et 1544kbits/s :**

Le débit de transmission à 2048Kbits/s résulte du multiplexage de 30 canaux à 64Kbits/s, en plus des informations de signalisation et de verrouillage nécessaire pour la gestion.

Ce débit primaire est employé dans le monde entier, seul les Etats-Unis, le Canada et le Japon, emploient un débit primaire de 1544 Kbits/s constitué en multipliant 24 canaux au lieu de 30 canaux, dont La trame de période de 125 $\mu$ s est constituée de 193 bits. Le premier bit de la trame sert au verrouillage de la trame et aux données d'exploitation, par contre les 192 bits suivants portent 24 intervalles de temps affectés à la transmission de 24 canaux à 64 Kbits/s.

Le traitement du signal produit une suite d'échantillons codés sur 8 bits toutes les 125 $\mu$ s. Le multiplexage de plusieurs voies sur un même support consiste à entrelacer les échantillons de diverses voies en respectant le même ordre d'émission. Il en résulte un motif répétitif sur la période de 125  $\mu$ s appelé trame. [2]

**Comparaison des deux normes Européenne et Américaine :**

	Système Européenne	Système Américain
Fréquence d'échantillonnage	$F_e = 8\text{Khz}$	$F_e = 8\text{Khz}$
Nombre de niveau de quantification	$q = 256$	$q = 256$
Nombre de bits par échantillon	8bits	8bits
Débit binaire par voie	64Kbits/s	64Kbits/s
Nombre d'intervalles de temps	32	24
Nombre de voies	30	24
Nombre de bits/trame	$32 \times 8 = 256$	$24 \times 8 + 1 = 193$
Durée de l'intervalle du temps	3,9 $\mu$ s	5,2 $\mu$ s
Débit binaire total	$256 \times 8 = 2,048 \text{ Mbits/s}$	$193 \times 8\text{Khz} = 1,544\text{Mbits/s}$

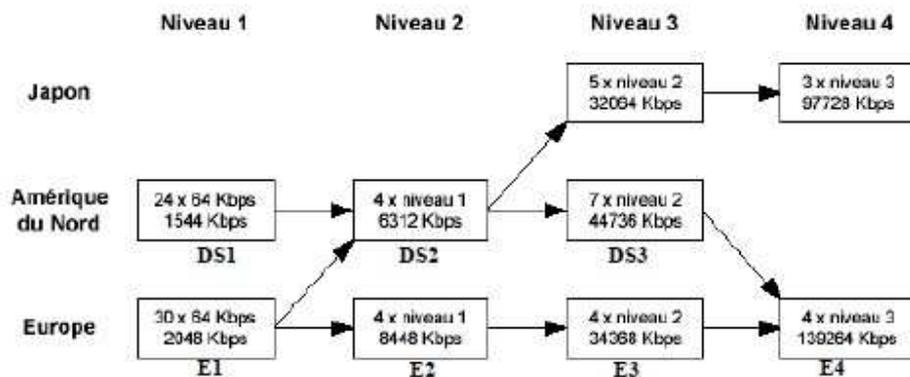
**Tableau.1.Comparaison des deux normes Américaines et Européennes**

**2.4.2 Hiérarchie digital plésiochrone :**

La hiérarchie PDH (plésiochrone digital hierarchy en anglais) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Son principe consiste à multiplexer et à transporter des éléments binaires de débit inférieur en les transmettant a des débits supérieurs.

Le transfert de données est basé sur un flux à 2 048 kbit/s. Pour la transmission de la voix, ce flux est séparé en 30 canaux de 64 kbit/s et 2 canaux de 64 kbit/s utilisés pour la signalisation et la synchronisation. On peut également utiliser l'intégralité du flux pour de la transmission de donnée dont le protocole s'occupera du contrôle.

Le principale défaut de cette technique de multiplexage est qu'elle ne permet pas d'avoir accès aux informations d'une voie directement sans démultiplexer l'ensemble des voies.



**Figure.4. Les différents débits de la hiérarchie PDH**

Pour cela d'autre types de multiplexages sont venus afin de résoudre ces inconvénients, on parlera donc du multiplexage synchrone SONET et SDH [3].

### 2.4.3. La hiérarchie SONET :

La hiérarchie SONET (Synchronous Optical Network) a été conçue en 1986 par BELL LAB, elle est utilisée en Amérique du nord. La trame de base définie par cette hiérarchie est le OC-1(Optical Container) au débit de 51.84Mbit/s. Un réseau SONET supporte les débits plésiochrones américains. Le tableau suivant présente les différents débits définis par la hiérarchie SONET [4] :

TRAME	DEBIT EN Mbits/s
OC-1(STS-1)	51.84
OC-3(STS-3)	155.82
OC-9(STS-9)	466.56
OC-12(STS-12)	622.02
OC-18(STS-18)	931.12
OC-36(STS-36)	1244.16
OC-48(STS-48)	2488.32
OC-192(STS-192)	9953.28

**Tableau.2.Les différents débits de la SONET**

### 2.4.4. La hiérarchie SDH :

La hiérarchie numérique synchrone : (SDH : Synchronous Digital Hierarchy) a été développé dans le but essentiel de construire un réseau unique afin de faciliter l'interconnexion des différents réseaux de transmission à travers le monde entier, et pour répondre aux besoins croissants des applications en terme de bande passante. Cette hiérarchie repose sur un multiplexage synchrone, et les trames numérique véhiculées sont à niveaux élevés ce qui facilite l'insertion et l'extraction des niveaux inférieurs.

La SDH est organisée en plusieurs trames STM-n, la trame de base est STM-1 (synchronous transport module, niveau 1), qui a une longueur de 2340 octets. La fréquence d'échantillonnage de cette trame est de 8Khz, et le temps d'échantillonnage est de 125µs, cela nous permet d'avoir

Un débit de 155.52Mbits/s.

C'est-à-dire :  $2340 \times 8 / 125 = 155.52$  Mbits/s [5].

### 3. Le modèle OSI :

Le modèle OSI( Open Systems Interconnection) est un standard de communication, en réseau de tous les systèmes informatiques, apparu dans le but de normaliser les communications pour garantir un maximum d'évolutivité et d'interopérabilité entre les ordinateurs, il décrit la manière dont deux éléments d'un réseau (station de travail, serveur, etc.....) communiquent en décomposant les différentes opérations à effectuer en 7 étapes successives qui sont nommées les 7 couches du modèle OSI.[6]

Le but de l'OSI est de créer un modèle idéal où chaque couche effectue une tâche définie et dépend des services de la couche inférieure. Chaque couche donc fournit ses propres services à la couche supérieure.

#### 3.1. La composante du modèle OSI :

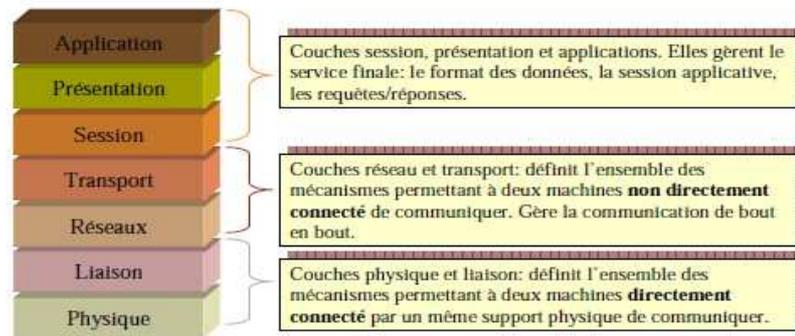


Figure.5.Les couches OSI

##### 3.1.1. La couche (1) physique :

Elle gère la communication avec l'interface physique afin de faire transiter ou de récupérer les données sur le support de transmission, qui peut être électrique, mécanique, fonctionnel, ou procédural. Ce sont les contraintes matérielles du support utilisés qui décident des objectifs à atteindre pour cette couche : conversion en signaux électrique, taille et forme des connecteurs, dimension et position des antennes, etc. EX : interconnexion avec le support physique de transmission (paire torsadée, fibre optique, etc.), choix de codage (NRZ, MANCHERSTER, modulation AM, FM...etc.)

Le matériel associé : hub, ou concentrateur en français.

### **3.1.2. La couche (2) liaison de données :**

Cette couche prend les données de la couche physique et fournit ses services à la couche réseau. Elle s'occupe de la bonne transmission de l'information entre les nœuds via le support ,en assurant la gestion des erreurs de transmission ,la synchronisation des données, le multiplexage et le contrôle de flux.

Le matériel associé : Switch, ou commutateur.

### **3.1.3. La couche (3) réseau :**

Elle gère les connexions entre les nœuds du réseau, c'est-à-dire réalisation du chemin permettant d'atteindre l'adresse destinataire (routage), afin de transmettre de manière indépendante l'information ou les différents paquets la constituant, interconnecter les réseaux entre eux, et enfin fragmenter les paquets, et aussi elle définit la taille de ses blocs.

Ces trois couches citées ci-dessus peuvent être regroupées et cela forme donc ce qu'on appelle couches basses qui sont les plus proches du matériel.

### **3.1.4. La couche(4) transport :**

Cette couche supervise le découpage et le réassemblage de l'information en paquet contrôlant son transfert de bout en bout entre les deux systèmes d'extrémités (émetteur, destinataire), afin de rendre le transport transparent.

Ex : technique de commutation par paquet et fragmentation.

### **3.1.5. La couche (5) session :**

Elle gère les connexions entre les applications Co-opérantes : elle établit et maintient des connexions entre processus, gère le droit de parole au moyen de jeton, responsable sur la synchronisation. Au niveau de cette couche il n'y a pas de contrôle ou de reprise en cas d'erreurs. Le modèle TCP/IP ne possède pas ce type de couche car TCP fournit une grande partie des fonctionnalités de session.

### **3.1.6. La couche(6) présentation :**

C'est une couche qui gère la représentation des données, et qui utilise le code ASCII, EBCDIC....., la taille des mots est de (16,32 ....).Elle représente aussi les valeurs négatives c'est-à-dire le complément a 1, et le complément a 2, en outre responsable sur la numérotation

des bits, le cryptage et la compression des données. Un langage commun doit être utilisé pour une bonne compréhension entre les différents nœuds de réseaux.

**3.1.7. La couche (7) application :**

Elle fournit les protocoles et les fonctions nécessaires pour les applications clients, elle désigne le type d'information à transporter (fichiers, courriers électroniques,). Il existe un nombre important de services fournis par cette couche. [7]

Voici donc un exemple de l'utilité des couches OSI lors d'un dialogue entre deux personnes au téléphone :

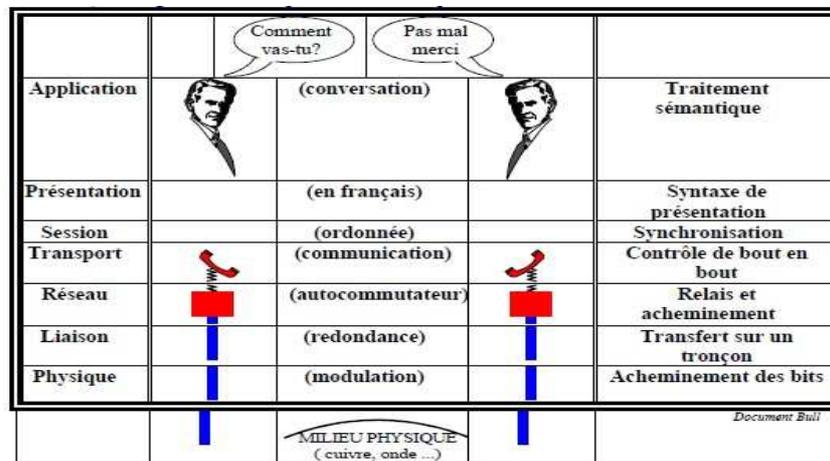


Figure.6. Rôle des couches OSI dans le dialogue

**3.2. Le protocole IP :**

Le protocole IP (Internet Protocole) assure le service attendu de la couche réseau du modèle TCP/IP, son rôle est donc de gérer l'acheminement des paquets (issus de la couche transport) entre les nœuds de manière totalement indépendante même dans le cas où les paquets ont un même nœud, source et destination

Le protocole IP détermine le destinataire du message grâce à 3 champs :

- ✓ Le champ adresse IP : adresse de la machine.
- ✓ Le champ masque de sous réseau : permet au protocole IP de déterminer la partie de l'adresse IP qui concerne le réseau.
- ✓ Le champ passerelle par défaut : permet au protocole internet de savoir à quelle machine remettre le datagramme si jamais la machine de destination n'est pas sur le réseau local.

Ce protocole offre un fonctionnement non- fiable et sans connexion a base d'envoi/réception de datagrammes (flux de bits structurés) :

- Non fiable : absence de garantie que les datagrammes arrivent a destination, car
- Les datagrammes peuvent retardés, perdus, ou dupliqués, sans que ni la source ,ni la destination ne le sachent ,on parle de « remise en mieux ».
- Sans connexion : (mode non connecté) : chaque datagramme est traité et donc acheminé de manière totalement indépendante des autres.

### 3.2.1. Les datagrammes

Les données circulent sur Internet sous forme de datagrammes : ce sont des données encapsulées, c'est-à-dire des données auxquelles on a ajouté des en-têtes correspondant à des informations sur leur transport (telles que l'adresse IP de destination).Les données contenues dans les datagrammes sont analysées (et éventuellement modifiées) Par les routeurs permettant leur transit.

### 3.2.2. Inspiration du modèle TCP/IP :

Le modèle TCP/IP est inspire du modèle OSI, il reprend l'approche modulaire (utilisation de modules ou couches) mais en contient uniquement quatre, comme le montre le tableau suivant :

Modèle TCP/IP	Modèle OSI
Couche Application	Couche Application Couche Présentation Couche session
Couche Transport (TCP)	Couche Transport
Couche Internet (IP)	Couche réseau
Couche Accès Réseau	Couche liaison de données
	Couche Physique

**Tableau.3.Inspiration du TCP/IP du modèle OSI**

Comme on peut remarquer, les couches du modèle TCP/IP ont des tâches beaucoup plus diverses que celles du modèle OSI étant donné que certaines couches du modèle TCP/IP correspondent à plusieurs couches du modèle OSI.

### 3.2.3. Le rôle des différentes couches du modèle TCP/IP :

- Couche accès réseau : elle spécifie la forme sous laquelle les données doivent être acheminées quel que soit le type de réseau utilisé.
- Couche internet : elle est chargée de fournir le paquet de données (datagrammes).
- Couche transport : elle assure l'acheminement des données, ainsi que les mécanismes permettant de connaître l'état de transmission.
- Couche application : elle englobe l'application standard du réseau.

Exemple de quelques applications :

#### 3.2.3.1. Couche application web /http :

Dialogue permettant de récupérer des pages web.

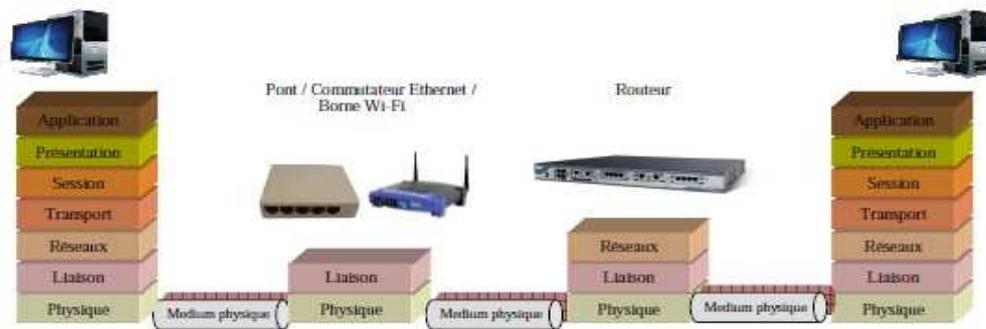
#### 3.2.3.2. Couche session http :

Récupération de plusieurs fichiers sur la même connexion ou différentes connexions et création d'un site web.

#### 3.2.3.3. Présentation http:

Conversion des données en fonction du type terminal (Smartphone, Tablette, Pc...).  
A chaque niveau, le paquet de données change d'aspect, car on lui ajoute un en-tête, ainsi les applications changent suivant les couches :

- ✓ Le paquet de données est appelé **message** au niveau de la couche application.
- ✓ Le message est ensuite encapsulé sous forme de segment dans la couche transport.
- ✓ Le segment une fois encapsulé dans la couche internet prend le nom datagramme.
- ✓ Enfin, on parle de trame au niveau de la couche accès réseau.



**Figure.7.Utilité des couches OSI/IP dans la communication internet**

### 3.2.4. Le routage IP:

Il fait partie intégrante de la couche IP de la suite TCP/IP, ce dernier consiste à assurer l'acheminement d'un datagramme IP à travers un réseau en empruntant le chemin le plus court. Ce rôle est assuré par des machines appelées routeurs, c'est-à-dire des machines reliant au moins deux réseaux.[8]

### 4. Mode transfert asynchrone :

Le mode ATM (Asynchronous Transfer mode en anglais) est un protocole réseau qui est basé sur la transmission et la commutation de cellules, qui a pour objectif de multiplexer les différents flots de données sur un même lieu. Le mode ATM a été conçu pour fournir un standard réseau unifié qui pourrait supporter un trafic réseau synchrone (SDH), aussi bien qu'un trafic utilisant des paquets (IP, relais de trame, etc.) tout en supportant plusieurs niveaux de qualité de services (QoS). Ce protocole asynchrone s'appuie fréquemment sur une couche de transport synchrone c'est-à-dire que les cellules ATM sont envoyées de manière asynchrone, en fonction des données à transmettre, mais sont insérées dans le flux de données synchrones d'un protocole de niveau inférieur pour leur transport.[9]

**4.1. Caractéristiques et contraintes aux quelles doit répondre ATM :**

- Basé sur la transmission et commutation de paquets.
- Connexion des données (sur un ou plusieurs supports physiques).
- Contrôle minimale pour erreurs de transmission et de flux.
- Debit élevé : 155Mb/s ,622 Mb/s, 2.4 Gb/s .
- Offre de bande passante sur demande.
- Supporte différent service voix, données, vidéos.
- Qualité de service.
- Technologie sélectionnée par ITU-T.
- Standardisation ITU-T, ATM-Forum.
- Unité de transmission : cellule de 53 octets.

Ce mode de transfert universel rend possible l'intégration de tous types de services sur un accès unique au réseau. L'ATM est une technologie que s'adapte aussi bien aux réseaux publics à large bande qu'aux réseaux privés et aux réseaux locaux d'établissement.

**4.2. Architecture ATM :**

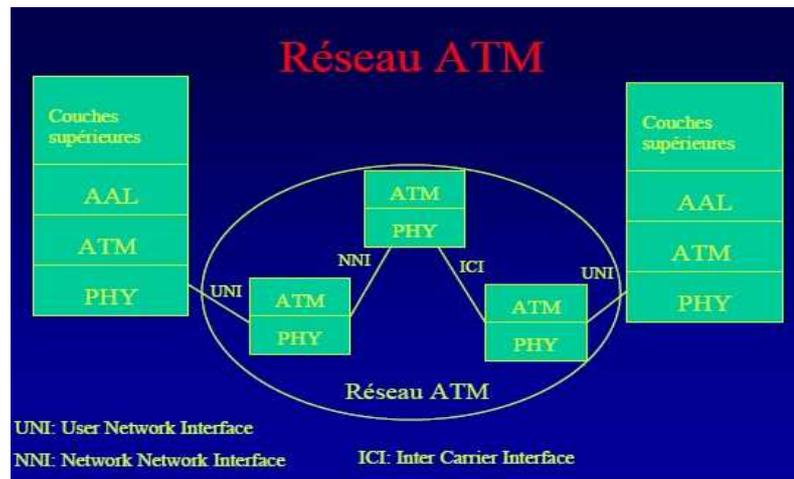
Un réseau ATM se composé de :

- ✓ Nœud ATM : (appelé commutateurs) relié entre eux par des liaisons ATM, ces nœuds aiguillent
- ✓ Des paquets de longueur fixe : les cellules ATM, de taille 53 octets et qui permettent de la commuter avec un maximum d'efficacité :
- ✓ Une entête de 5 octets : dont le rôle principale est d'identifier les cellules appartenant a une même connexion d'en permettre l'acheminement.

- ✓ Le champ d'informations (48 octets) : correspond a la charge utile.
- ✓ Des interfaces permettant le branchement d'équipements sur un réseau ATM.

Il existe trois types de ces interfaces :

- ✓ L'interface UNI (User To Network Interface) : qui spécifie le raccordement entre un usager du réseau (poste de travail, serveur, routeur ....etc.) et un commutateur ATM (public/privé).
- ✓ L'interface NNI (network to network interface) : spécifie le raccordement entre deux commutateurs ATM.
- ✓ L'interface DXI : qui permet l'accès au réseau ATM a d'autres réseaux préexistants.



**Figure.8.Architecture du réseau ATM**

Le modèle architectural de l'ATM se compose de 3 couches :

**4.2.1. La couche ATM :**

- S'occupe de la commutation temporelle asynchrone et du routage des cellules,

- Elle est responsable du transport de bout en bout des cellules (possède des fonctionnalités de la couche réseau du modèle OSI).
- Possède des fonctions de gestions des erreurs de transmis

### 4.2.2. La couche physique : Synchronous Data Hiérarchy (SDH) :

Impose une structure sur le flux ATM et utilise la trame de base STM-1, aussi peut transporter le trafic ATM et STM, et assure la connexion spécifiques qui peuvent êtres commutées (circuits) par des canaux SDH. Cette technique de multiplexages permet de combiner plusieurs flux ATM.

❖ La couche physique est divisée en deux sous-couches :

- Sous-couche TC (Transmission Convergence) : permet l'adaptation des cellules aux trames de transmission du réseau de transport.
- Sous-couche PM (physical Medium) : permet l'adaptation physique du signal sur les médias (fibre optique, câble coaxial, câble en cuivre) utilisés.(indépendance de la notion de cellule).

### 4.2.3. La couche AAL : (ATM Adaptation Layer) :

Regroupe les fonctions chargées d'adapter les trames fournies par la couche supérieur au seul format utilisable par la couche ATM ; la cellule ATM.

Elle est composée de deux sous-couches :

- La couche de segmentation et réassemblage (couche SAR : Segmentation And Ressemblay en anglais).
- La couche d'interface avec les couches supérieures (couches CS : Convergence Sublayer).

4.2.4. Présentation des couches :

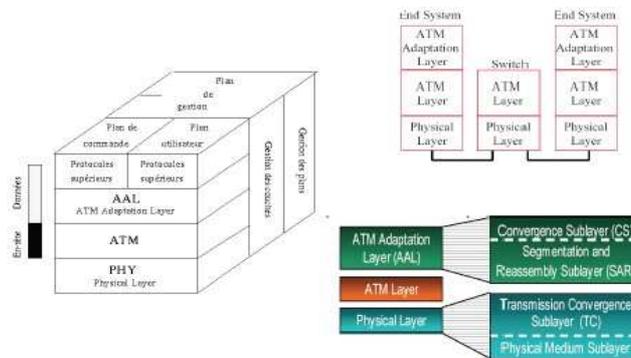


Figure.9. Les couches de l'ATM

4.3. Connexion entre couches :

Transport des données à travers des VPC (Virtual Path Connection), regroupe plusieurs VCC avec la même destination.

- Le VCC (Virtual Channel Connection) identifie la communication en cours évalué à la destination seulement.
- Identification des canaux dans l'en-tête de la cellule ATM:
- VCI : Virtual Channel Identifier
- VPI: VirtualPathIdentifier.[10]

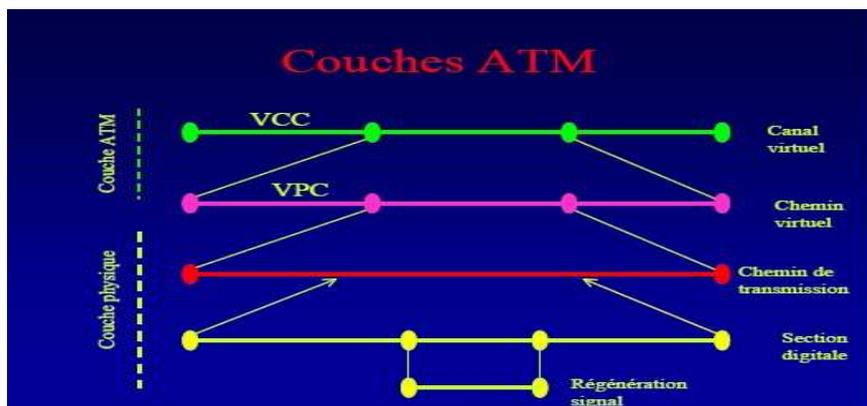


Figure.10. Les canaux de communication ATM

## 5. Origine de la fibre optique :

La fibre optique représente le support de propagation de la lumière (canal de communication) dans les systèmes optiques. Il s'agit d'un guide d'onde diélectrique à géométrie cylindrique constituée au centre d'un cœur composé essentiellement de silice pure hautement raffinée et plus ou moins dopée à un indice de réfraction  $n_1$  cœur dans lequel se propage la lumière émise par une diode électroluminescente ou une source laser, et la gaine optique qui entoure le cœur dont l'indice de réfraction  $n_2$  qui garantit que le signal reste dans la fibre. L'indice  $n_1$  est supérieur à  $n_2$ . Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit de multiples réflexions totales internes.

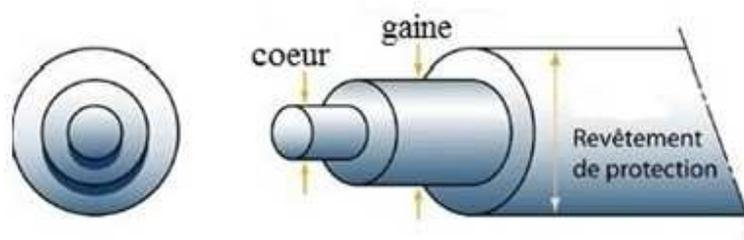


Figure.11. Structure de la fibre optique

Une fibre a des dimensions de l'ordre de la centaine de micromètre. Le diamètre de la gaine est en général de  $125\ \mu\text{m}$  mais peut aussi être de  $140\ \mu\text{m}$  (cas de certaines fibres multimodes). Le rayon  $a$  de cœur, quant à lui varie de  $1$  à  $100\ \mu\text{m}$ , et de poids de quelques grammes au kilomètre. Cette réduction de taille et de poids la rend plus facile à utiliser. [11]

### 5.1. Éléments caractérisant une fibre optique :

#### 5.1.1. La bande passante :

La bande passante d'une fibre est déterminée par la quantité de lumière qu'elle peut transporter, la transmission de la lumière dans une fibre ne peut être idéale que dans certaines bandes du spectre optique.

La propagation des ondes dans les fibres optiques peut s'étudier à l'aide de deux théories

différentes :

- ✓ La théorie de Maxwell.
- ✓ La théorie de l'optique géométrique.

Les notions et résultats les plus importants de ces deux théories sont cités ci-dessous :

### 5.1.2. L'indice de Réfraction :

On définit les milieux constituant la fibre optique (cœur, gaine) par l'indice de réfraction  $n$ .

La définition la plus répandue pour l'indice de réfraction est qu'il est la quantité résultant du rapport entre la vitesse de la lumière  $c$  dans le vide, et la vitesse de phase  $v$  de la lumière dans ce milieu. Plus l'indice est grand, et plus la lumière est lente.

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

Avec :

$\mu$  : perméabilité du milieu

$\epsilon$  : permittivité du milieu

### 5.1.3. Théorèmes optiques :

#### 5.1.3.1. Loi de Snell-Descartes pour la réflexion

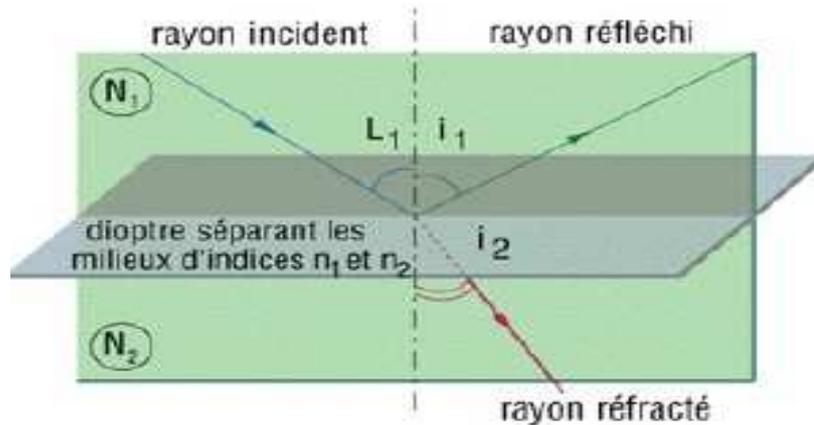
La réflexion est le renvoi de la lumière par la surface qui la reçoit. La première loi de Descartes précise que : « le rayon réfléchi est dans le plan d'incidence, l'angle d'incidence est égale à l'angle de réflexion en valeur absolue  $\theta_1 = -\theta_2$ .

#### 5.1.3.2. Loi de Snell-Descartes pour la réfraction

La réfraction est la déviation subie par les rayons lumineux à la traversée de la surface séparant deux milieux transparents. La deuxième loi de Descartes stipule que : « le rayon réfracté

est dans le plan d'incidence, les indices de réfraction  $n_1$  et  $n_2$  de chacun des milieux et les angles incident  $\theta_1$  et réfracté  $\theta_2$  sont reliés par la relation suivante :

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$



**Figure.12.Principe de la réflexion et la réfraction**

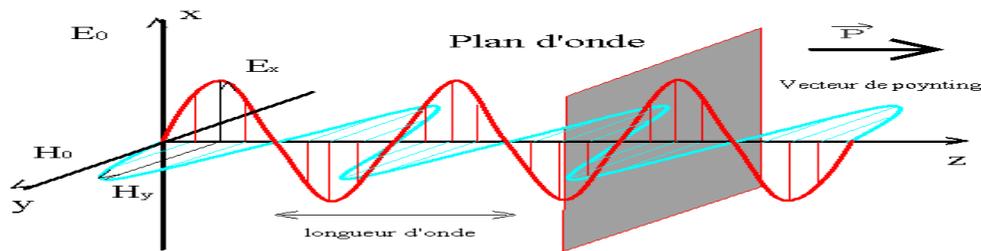
Si  $n_1 > n_2$  le rayon s'écarte de la normale.

Si  $\theta_1 > \arcsin(n_2/n_1)$ , il y a réflexion totale.

### 5.2. Équation de Propagation et différents types de fibres optiques :

L'onde optique est une onde électromagnétique caractérisée par les deux champs électrique et magnétique et une direction de propagation. Une fonction sinusoïdale décrit la forme la plus simple de l'équation de propagation dans le temps et dans l'espace.

Pour une onde plane qui se propage en direction  $z$  la déviation vaut :



**Figure.13.Propagation de l'onde électromagnétique**

Le milieu constituant la fibre optique (silice) est un milieu linéaire, isotrope dans lequel aucune densité de courant et densité de charge n'existe. [12]

### 5.3.Principe de Guidage Dans les Fibres :

Le principe de guidage de la lumière dans une fibre optique repose sur une suite de réflexions entre deux milieux d'indices de réfraction différents : le cœur central d'indice  $n_{\text{cœur}}$  et la gaine optique d'indice  $n_{\text{gaine}}$ , avec  $n_{\text{cœur}} > n_{\text{gaine}}$ . Cet écart d'indice entre le cœur et la gaine est réalisé en injectant des dopants, tels que :

- ✓ Le germanium et le phosphore qui accroissent l'indice dans le cœur.
- ✓ Le bore et le fluor qui le font décroître dans la gaine.

Or il est connu que lorsqu'un rayon lumineux d'incidence  $\theta_i$  passe d'un milieu d'indice  $n_{\text{cœur}}$  à un milieu d'indice  $n_{\text{gaine}}$ , il est réfracté avec un angle  $\theta_r$  tel que :

$$n_{\text{cœur}} \sin \theta_i = n_{\text{gaine}} \sin \theta_r \quad (2)$$

Le rayon n'est plus réfracté mais réfléchi en empruntant un parcours en zigzag avec une vitesse mesurée par rapport à la vitesse de la lumière dans le vide d'après la loi de Snell-Descart par :

$$V = c/n_{\text{cœur}} \quad (3)$$

La propagation de la lumière le long de la fibre n'est possible que le cœur et la gaine sont constitués de matériaux transparents et que l'indice de la gaine est inférieur à celui du cœur. La

seconde condition est d'envoyer le signal lumineux dans la fibre avec un angle par rapport à l'axe inférieur à l'angle critique (ou angle d'acceptance) défini par :

$$\theta_a = \arcsin \left[ \frac{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}{n_m^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Le rayon sera donc guidé uniquement dans le cœur, on définit alors la notion d'ouverture numérique ON (Numerical Aperture) qui représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptré cœur-gaine de la fibre et qui est donnée, dans le cas où le milieu d'indice  $n_m$  est l'air, par la relation :

$$ON = \sin(\theta_a) = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2} \quad (5)$$

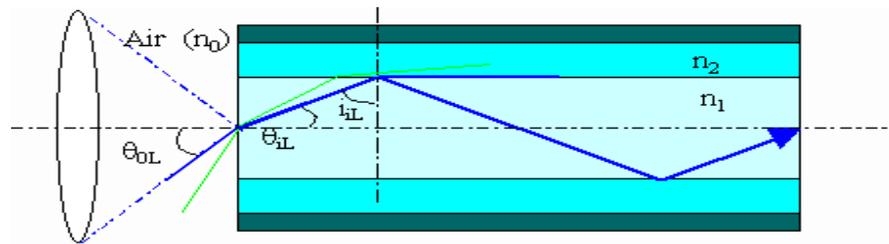
Un autre paramètre caractéristique de la fibre est la différence d'indice de réfraction qui donne une mesure de saut d'indice entre le cœur et la gaine, il est exprimé par : [11]

$$\Delta = \frac{n_{\text{coeur}} - n_{\text{gaine}}}{n_{\text{coeur}}} \quad (6)$$

## 5.4. Les caractéristiques de la fibre optique :

### 5.4.1. L'ouverture numérique :

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



**Figure.14. Ouverture numérique dans la fibre**

L'angle d'incidence maximal ( $\theta_{\max}$ ) à l'entrée d'une fibre c'est à dire l'ouverture du cône d'acceptance, appelée ouverture numérique, est défini par la relation suivante :[1]

$$ON = \sin(\theta_{\max}) = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (7)$$

#### 5.4.2. L'atténuation :

La puissance lumineuse est tout de même sensiblement diminuée au cours de la propagation dans une fibre. Cette perte de puissance est essentiellement due à l'absorption et aux diffusions Rayleigh, par les impuretés et par les micro-défauts de structure du matériau. Toutes ces pertes sont dépendantes de la longueur d'onde de la lumière se propageant dans la fibre. Elles sont caractérisées par le coefficient d'atténuation  $\alpha$ , déterminée à partir de la puissance d'entrée PE et de la puissance de sortie PS de la lumière se propageant dans une fibre de longueur L. Le coefficient  $\alpha$  caractérise l'affaiblissement du signal au cours de la propagation et s'exprime généralement en dB/ km.

De là on conclut que l'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes de pertes intrinsèques : 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 contenues dans celle-ci :

- ✓ La disposition inhomogène des molécules de SiO<sub>2</sub> résulte dans une fluctuation de l'indice de réfraction.
- ✓ 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 micro-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.

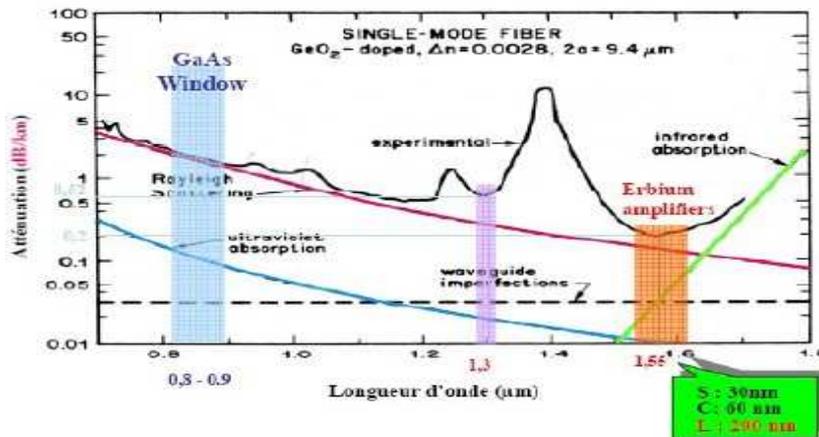


Figure.15.Atténuation des fibres

### 5.4.3. La dispersion :

#### 5.4.3.1. Notion de dispersion :

La dispersion du signal optique dans une fibre crée de la distorsion du signal, ce phénomène se traduit par un élargissement des impulsions au cours de leur propagation ce dernier limite la bande passante du canal de transmission.

Il existe trois types de dispersion :

#### 5.4.3.2. La dispersion chromatique :

Ce type de dispersion provient de la largeur spectrale non nulle des sources optiques et apparaît dans des fibres à base de silice (milieu dispersif).

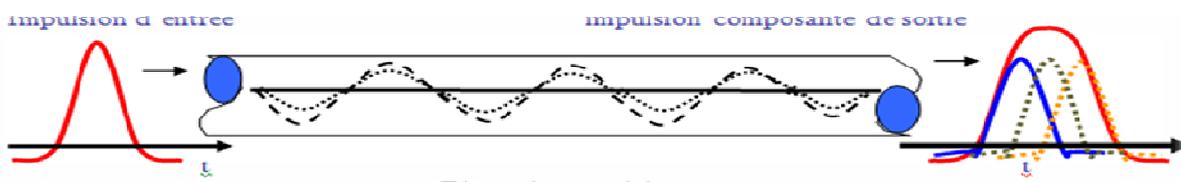
La vitesse de propagation moyenne d'une impulsion est égale à la vitesse de groupe du mode fondamental. Le problème vient de ce que le temps de propagation de groupe varie avec la longueur d'onde. Or les sources de rayonnement lumineux ne sont pas rigoureusement monochromatiques. Il y a deux causes à prendre en compte :

- ✓ L'indice qui varie en fonction de la longueur d'onde (dispersion matériaux).

- ✓ La vitesse de groupe qui varie avec la longueur d'onde (dispersion guide d'onde).

**5.4.3.3. Dispersion modale :**

L'énergie lumineuse transmise dans une fibre optique multimode se répartit entre les différents modes (trajectoires différentes) qui se propagent 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, c'est la dispersion modale.

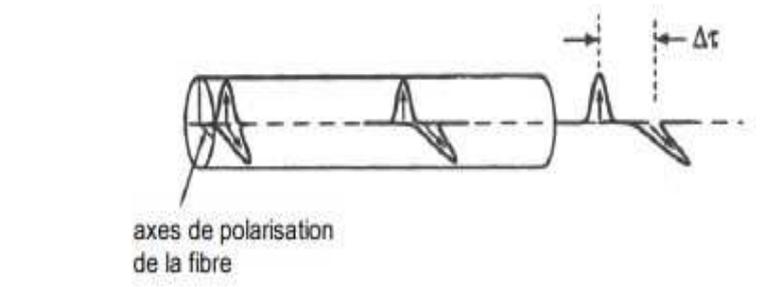


**Figure.16.La dispersion modale**

**5.4.3.4. La dispersion de polarisation :**

La fibre monomode au sens ou on l'entend habituellement autorise la propagation d'un seul mode, mais ce mode est dégénéré, c'est-à-dire qu'il peut se décomposer en deux modes de bases indépendants ayant des polarisations orthogonales, alors :

Si la fibre n'est pas parfaitement circulaire, les deux modes peuvent se propager à des vitesses différentes. La dispersion qui en résulte est un phénomène aléatoire décrit statiquement dans le temps et dans l'espace.



**Figure.17.La dispersion de polarisation**

## 5.5. Les types de fibre optique :

### 5.5.1. La fibre multimode :

Une fibre optique est un guide qui sera probablement multimode si le cœur a un grand diamètre devant la longueur d'onde. Il est de l'ordre de 50 à 200  $\mu\text{m}$  pour les fibres de silice, et de 0.5 à 1  $\mu\text{m}$  pour les fibres plastiques.

Dans une fibre multimode les différents rayons se propagent longitudinalement grâce aux réflexions totales qu'il subit à l'interface entre le cœur et la gaine en empruntant des trajectoires différentes. Leurs chemins optiques et donc leurs temps de propagation sont différents, ce qui résulte une dispersion dite multimodale. Ces fibres sont en générale employées pour les réseaux locaux (ne s'étendant pas sur plus de deux kilomètres). Les bas débits ou encore pour des longueurs d'onde proche de 850nm.

Parmi les fibres multimodes, on distingue les fibres à faible indice ou saut d'indice (débit limité à 50Mb/s) et les fibres à gradient d'indice (débit limité à 1Gb/s).

### 5.5.2. Fibre Optique Multimode à Saut d'Indice :

Dans ce type de fibre, le cœur est homogène, son diamètre est grand devant la longueur d'onde, et son indice de réfraction est donné par :

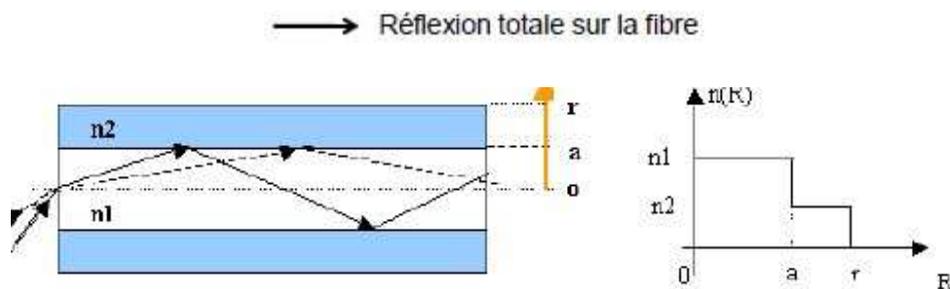
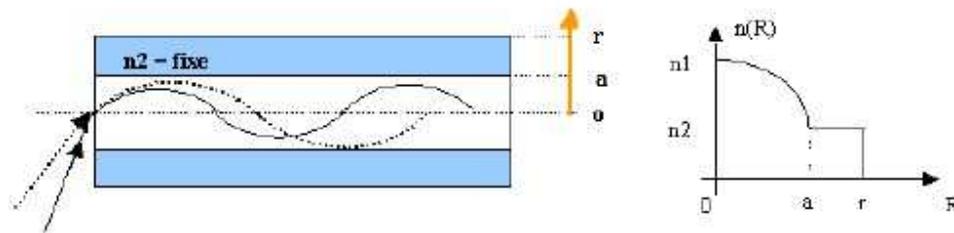


Figure.17. Propagation des ondes dans une fibre optique multimode à saut d'indice

**5.5.3. Fibre Optique Multimode a Gradient d'Indice :**

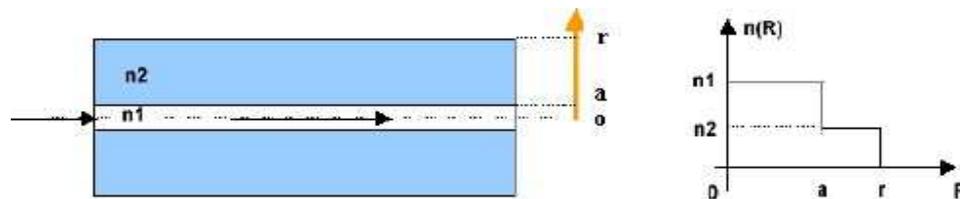
La gaine possède un indice de réfraction progressif, celui de l'âme est plus grand que celui de la périphérie, le faisceau lumineux suit une trajectoire d'allure curviligne. Le faisceau lumineux change de direction moins brusquement lors du rebond ce qui diminue les pertes.



**Figure.18.Propagation des ondes dans une fibre optique multimode à gradient d'indice**

**5.5.4. La fibre Optique Monomode :**

Le diamètre du cœur est inférieur à  $10 \mu\text{m}$  de telle sorte que le parcours de la lumière devient presque longitudinal. Le diamètre de la gaine est compris entre  $50 \mu\text{m}$  et  $125 \mu\text{m}$ . Ce type de fibre nécessite une source de lumière quasiment monochromatique (Diode laser). [13]



**Figure.19.Propagation du mode fondamental dans une fibre monomode a saut d'indice**

**5.5.5. Comparaison entre les types de fibre optique :**

Fibre monomode	Fibre multimode
Bande passante élevée	A été la première utilisée
Composants chers	Facile a utiliser mais a bande
Elle est solution universelle pour les longues distances	Passante limitée
Ouverture numérique faible (connexion délicate)	Réservée aux courtes distances
Très faible atténuation	Ouverture numérique forte (connexion facile)
Faible dispersion	Faible atténuation
	Forte dispersion
	Réseaux locaux

**Tableau.4.Comparaison des deux types de fibres**

**5.6. Avantage de la fibre optique:**

Par comparaison aux autres supports de transmission existants, la fibre optique présente de nombreux avantages qui justifient son introduction dans les systèmes de transmission :

- ❖ **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 supérieurs 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'aïdée 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.[14]

### 6. Conclusion :

La fibre optique représente assurément le meilleur moyen actuel dans les réseaux de transmission qui sont responsables sur l'échange d'une très grande quantité de données d'une source vers une destination, tels que des flux voix, vidéo et autres, en minimisant au maximum les pertes. Aussi a profondément modifié l'architecture des réseaux de transmission, de nouvelles architectures se mettent en place pour la transmission, le multiplexage et le brassage.

Les boucles optiques de la technologie SDH sont aussi bien présentés dans la transmission longue distance.

Le chapitre suivant est destiné à présenter ces nouvelles technologies de transmission optique, de boucle SDH/SONET ainsi que le multiplexage traditionnel PDH.

### 1. Préambule :

Le premier réseau de transmission optique des opérateurs était basé sur la hiérarchie numérique plésiochrone (PDH), et comme cette technologie semblait incapable de satisfaire les exigences des réseaux de transmission modernes, une nouvelle hiérarchie numérique synchrone (SDH) est apparue pour améliorer et remédier aux inconvénients de la hiérarchie précédente (PDH).

La SDH répond à un certain nombre d'objectifs, telle que la prise en compte des évolutions futures vers les hauts débits, aussi définit des niveaux successifs de concentration et de multiplexages des voies. C'est un système qui pallie les principaux défauts du PDH et supporte des débits très élevés.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les avantages et les améliorations apportés par cette nouvelle hiérarchie.

### 2. Principe de fonctionnement et multiplexage :

PDH (Plésiochronous Digital Hierarchy en anglais) est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques, elle est née avec la numérisation de la téléphonie. Dans ce système, le principe est la transparence, c'est-à-dire que les interfaces et les multiplexes normalisés à 2(E1), 8 (E2), 34(E3) et 140 (E4) Mbit/s (le plus haut débit normalisé) n'impose pas de contraintes sur le contenu binaire.

Le multiplexage de base est constitué avec le regroupement de plusieurs canaux téléphoniques à 64Kbit/s, ces regroupements sont différents en Europe, au Japon, et aux Etats Unis, ce qui a conduit à la définition de différentes hiérarchies plésiochrones.

Le principe de multiplexage plésiochrone étant de construire des débits supérieurs directement à partir des débits inférieurs, c'est une technique de multiplexage numérique avec des niveaux de multiplexages mis en cascade. Pour extraire un train à 2Mbit/s dans un multiplexe à 140Mbit/s, 3 démultiplexages sont nécessaires.

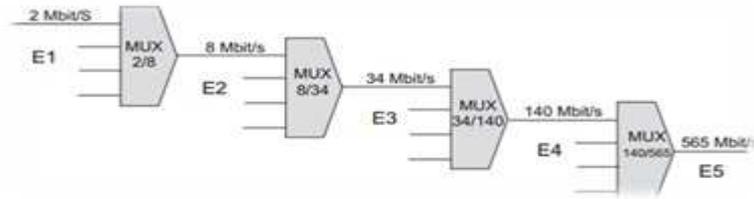


Figure .20 . La hiérarchie numérique PDH.

Chaque opération comporte une récupération de rythme et une recherche de trame. La trame ainsi constituée, ou les trames entrantes sont multiplexées bit par bit, contient un mot de verrouillage de trame (MVT) et deux bits de service.

Le multiplexage plésiochrone est basé sur l’adjonction d’un surdébit variable accolé à chacun des signaux à multiplexer .Ceci permet d’adopter le débit affluent au débit qui lui est réservé dans le signal résultant.

Le tableau suivant nous montre les différents débits de la hiérarchie PDH. [1]

Niveau	Norme de Japon	Norme Amérique	Norme Europe
1	24×64Kbit 1544K bit	24× 64K bit 1544K bit	30×64K bit 2048K bit
2	4× (niveau 1) 6312 K bit	4× (niveau 1) 6312 K bit	4× (niveau 1) 8448K bit
3	5× (niveau 2) 32064Kbit	7× (niveau 2) 44736K bit	4× (niveau 2) 34368K bit
4	3× (niveau 3) 97,728K bit		4× (niveau 3) 139,264K bit

Tableau.5.Les différents débits de la hiérarchie PDH

2.1. Limitations du PDH :

- L’inconvénient de ce mode de transmission est que le multiplexage se fait bit par bit de la trame numérique plésiochrone, ce qui ne permet pas l’accès aux niveaux inférieurs sans démultiplexage.

- L'absence de la normalisation au niveau de C.C.I.T.T, ce qui veut dire qu'on ne peut pas interconnecter deux hiérarchies différentes.
- La technique de multiplexage est complexe en raison du plésiochronisme des sources.
- La trame PDH ne contient pas d'octets réservés à l'exploitation.
- Pas d'interopérabilité a hauts débits entre les continents puisque les débits sont différents.
- La technique PDH est une technique de point a point et non une technique de réseau organisé en anneau permettant d'obtenir une disponibilité importante de services.
- La technique PDH ne prévoit pas l'existence de canaux de gestion et ne permet pas une centralisation de l'exploitation d'un réseau national.
- L'inexistence de standardisation en termes de gestion et d'interfaces optiques.

## 2.2. Evolution de la PDH vers la SDH :

- **La flexibilité :**

Un système de multiplexage se mesure d'une part a la facilité de réorganisation du train résultant et d'une autre part a la possibilité de transport dans ce train de débits variés.

- **Normalisation et évolution :**

En SDH, les trames à haut débit sont construites par multiplexage synchrone d'une trame de base normalisée (appelée STM : « **Synchronous Transport Module** ») qui inclut tous les éléments nécessaires à la gestion des hauts débits et n'impose donc plus de contraintes sur l'évolution future vers les hauts débits. De plus, l'interconnexion entre opérateurs et l'intérêt de pouvoir recourir à plusieurs fournisseurs impliquent la normalisation des interfaces à haut débit, en particulier les interfaces optiques.

- **Gestion du réseau :**

La structure des trames PDH ne comporte qu'un nombre réduit de bits alloués à l'exploitation et qui ne permet pas de gérer des équipements de multiplexage d'un même niveau et surtout de gérer le transport d'un E1 (par exemple) de bout en bout. Par contre la SDH ayant été conçue en fonction de la FO et des hauts débits, des capacités significatives pour la gestion ont été introduites dès le départ.

- **L'interconnexion :**

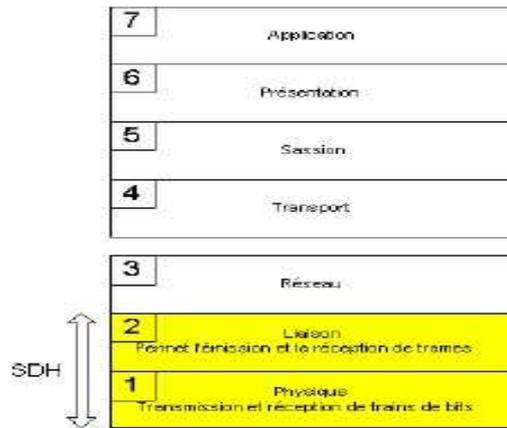
En PDH, l'interconnexion de systèmes de constructeurs différents n'est possible qu'au niveau de la jonction normalisée, celle-ci consiste en une interface électrique de portée limitée (centaines de mètres) ce qui impose évidemment l'interconnexion dans un centre de transmission. En SDH, toutes les trames étant construites à partir d'une trame de base normalisée, avec la normalisation des interfaces physiques (électriques et optiques), il devient possible d'interconnecter des équipements de constructeurs différents, mais aussi d'opérateurs différents.[15]

### 3. Définition de la SDH :

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy), est un ensemble de protocole pour la transmission de données numériques à haut débit. Il relève du niveau 1 du modèle en couche OSI, c'est un réseau de distribution d'horloge qui permet la délivrance de bits en synchronisme de l'horloge de référence, son intérêt est la richesse des fonctions de gestion, de surveillance, d'alarme et d'autocicatrisation.

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

- ✓ Souplesse accrue par la possibilité d'extraire ou d'insérer directement un signal constituant du multiplex de ligne.
- ✓ Facilités d'exploitation-maintenance : des débits importants sont réservés à ces fonctions.
- ✓ Possibilité d'évolution vers des hauts débits : les trames synchrones haut débits sont construites par multiplexage synchrone de l'entité de base. Cette entité de base définit implicitement toutes les trames haut débit, la limitation n'est plus que technologique.
- ✓ Interconnexion de systèmes à haut débit facilitée par la normalisation de la trame de ligne et des interfaces optiques correspondantes
- ✓ Architectures de réseaux assurant la sécurisation contre les défauts de ligne ou d'équipement. [16]



**Figure.21. Occupation de la SDH dans le modèle OSI.**

### 3.1. La trame de base STM-1 (SDH) :

trame STM-1( Synchronous Transport Module, niveau 1) , correspond au niveau 1 dans la hiérarchie numérique .Elle se présente sous la forme d'une matrice de 9 rangées de 270 octets dont la transmission s'effectue de gauche a droite et de haut en bas, expédiée toutes les 125µs .Chaque octet correspond a un canal de 64Kbits/s, cette hiérarchie possède les caractéristiques suivantes :

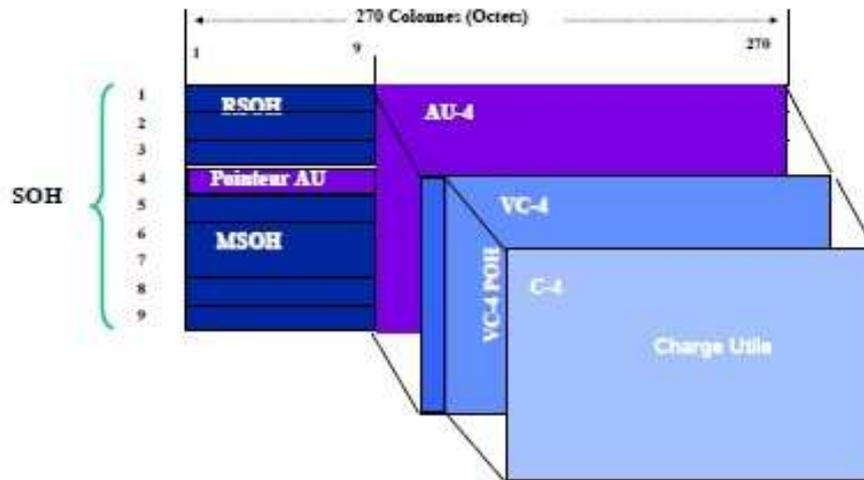
- ✓ Une taille de 2430 octets (organisation : 9 rangées réservé a la gestion d'adressage, et 270 colonnes réservé a la charge utile).
- ✓ Une durée de 125µs (c'est-à-dire synchronisation sur 8Khz).

Cela nous permet d'avoir un débit de 155,52 Mbits/s, c'est-à-dire : [1]

$$2430 \times 8 / 125 = 155,52 \text{ Mbits/s}$$

### 3.2. Structure de la trame de base STM-1 :

Il y a 3 zones dévolues aux informations comme le montre la figure suivante :



**Figure. 22. Structure de la trame de base STM-1.**

Qui sont les suivantes :

- ✓ La capacité utile (payload) qui est l'information utile, c'est-à-dire celle de l'information.
- ✓ Les pointeurs qui sont important pour la synchronisation.
- ✓ Et enfin le surdébit de section SOH (Section over Head) : qui est réservé à l'exploitation.

Cette dernière est divisée en deux 2niveaux de gestion :

- RSOH (régénération section over Head) : qui s'occupe des répéteurs /régénérateurs.
- MSOH (multiplexe section over Head) : qui s'occupe du transfert de bout en bout de l'information.

### 3.2.1. L'en-tête de section de section régénérateur :

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

- ✓ La synchronisation des trames.
- ✓ L'identification et l'affectation STM-1.
- ✓ Le contrôle de parité B1.
- ✓ Les voies de données.
- ✓ Les voies de paroles.

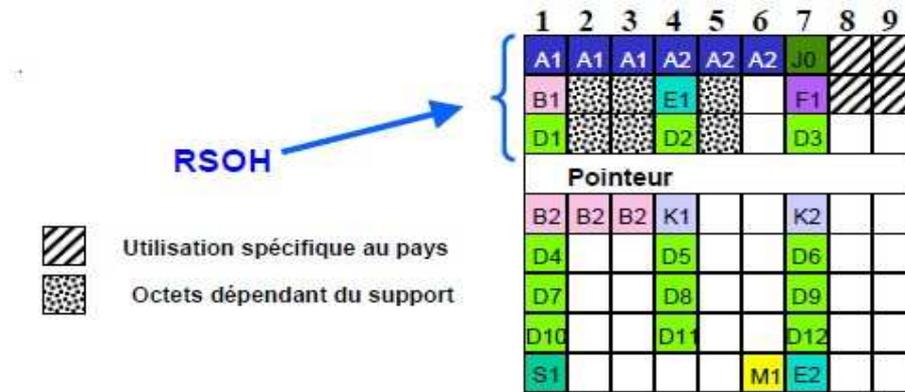


Figure.23. Les octets de section de régénération RSOH

**Signification des octets RSOH :**

- **A1/A2 :** se sont des octets qui permettent de constituer le mot de verrouillage de trame. Pour la trame de base STM-1 la structure est **A1A1A1A2A2A2**,

Ou chaque octet se traduit par sa propre suite binaire tel que :

**A1 :**11110110.

**A2 :**00101000.

- **J0 :** Cet octet est utilisé pour la trace de section de régénération, il transmet un identificateur de point d'accès de section régénération en l'occurrence l'adresse d'un émetteur (point d'accès au chemin). Aussi il permet le repérage et la continuité de la connexion, comme il peut être soit un octet compris entre 0 et 255, soit être utilisé comme **J1** et **J2** et transmettre une adresse sur 15 octets.
- **B1 :** permet d'évaluer la parité des stations intermédiaires : Un calcul de parité sur 8bits (BIP-8) est effectué à chaque générateur et parmi les multiplexeurs. Il permet aussi la surveillance du taux d'erreurs des sections élémentaires régénérées.
- **E1 :** il peut constituer un canal de service à débit de 64Kbits/s pour des communications vocales au niveau des régénérateurs.
- **F1 :** il est réservé aux besoins de l'utilisateur (opérations de maintenance particulières ou transmission d'alarmes 64Kbit/s).

- **D1 a D3** : permettent un canal de communication de données (Data Communication Channel ou DCC), a 192 bits/s, affectés à la communication de données d’administration et de contrôle du réseau de la section de la régénération.

Les autres octets sont réservés soit pour l’utilisation spécifique du pays, soit dépendant au support.

**3.2.2. L’en-tête de section de multiplexage (MSOH) :**

Elle occupe les 9 octets des 5 dernières lignes, utilisé pour gérer le transfert de bout en bout de l’information entre deux locations qui terminent ou route le trafic (multiplexeurs ou DXC). MSOH peut accomplir les fonctions suivantes [4]

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

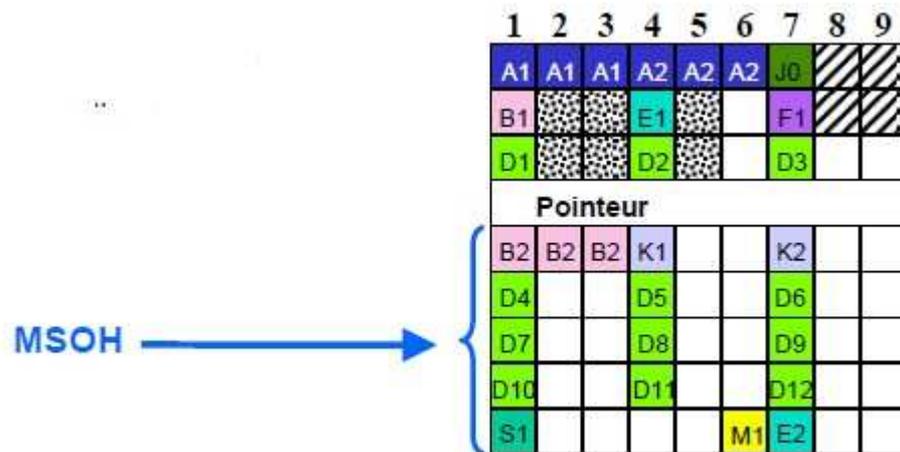


Figure.24.Les octets de section de multiplexage MSOH

➤ **Signification des octets du MSOH :**

- **B2** : trois octets permettent d’évaluer la parité entre les différents éléments du réseau, le contrôle s’étend sur 3 octets consécutifs. Il permet aussi la surveillance d’erreurs entre les terminaisons et sur les différentes sections entre multiplexeurs.
- **K1, K2** : voie de commande pour commutation sur secours.

L'octet K1 et les cinq premiers bits de K2 sont utilisés pour APS (Automatic Protection Switching) qui constitue un protocole de protection automatique coté signal résultant. Les trois derniers bits de K2 sont utilisés pour prévenir l'équipement distant d'une direction de l'indication d'alarme sur la section de multiplexage de :

- ✓ MS RDI (Multiplex Section Remote Defect Indication) : les bits de 6 à 8 seront codés 110.
- ✓ MS AIS (Multiplex Section Alarm Indication Signal) : les bits seront codés 111.
- **D4 à D12** : ils représentent un canal de communication de données (DDCM) pour transporter les flux de gestion au niveau de la section de multiplexage. Le DDCM est constitué de 9 canaux à 64Kbits/s, soit un débit de 576Kbit/s.
- **S1** : marqueur de la qualité de signalisation.
- **MI** : indication d'erreur distante sur la section de multiplexage.
- **E2** : il peut constituer un canal de service à débit de 64Kbits/s pour des communications vocales au niveau des extrémités multiplex.

### 3.3. Notion de pointeur :

Le pointeur est l'élément important dans lequel résident les informations de la hiérarchie synchrone, car c'est lui qui assure à lui seul la synchronisation. Il identifie la position de la charge utile par rapport à celle de la trame (STM-n), ce qui permet la localisation des affluents tout en autorisant leurs accès directs sans passer par le démultiplexage. Dans le cas des fluctuations ou glissements de l'information à transporter (charge utile) dans la trame qui provoquent des différences de phase par rapport à cette dernière, le pointeur fait la signalisation et la composition de ces différences par la technique de justification « positive-négative-nulle ». [17]

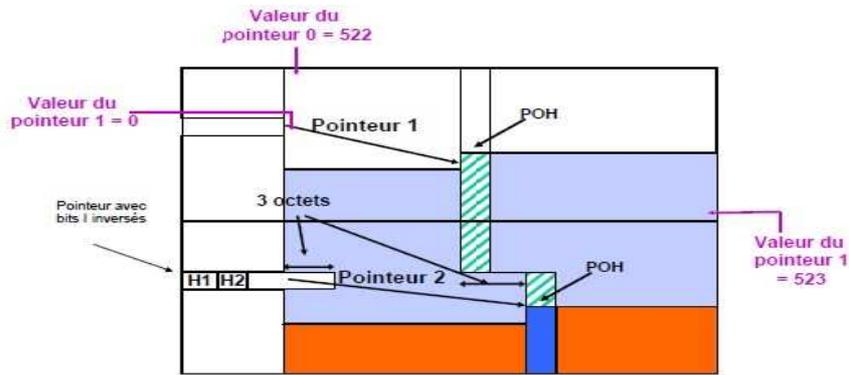
#### 3.3.1. Principe des pointeurs :

##### 3.3.1.1. Justification du pointeur :

Bien que le réseau soit synchronisé, il existe toujours un problème d'asynchronisme, comme en PDH, dû au fait que les horloges locales ne sont jamais exactement synchrones et que la gigue et le dérapage affectent le transport d'une trame synchrone d'un nœud vers un autre à travers le réseau. Pour le résoudre, on utilise le mécanisme des pointeurs mais aussi des octets **de Justification** :

**3.3.1.1.1. Justification positive :**

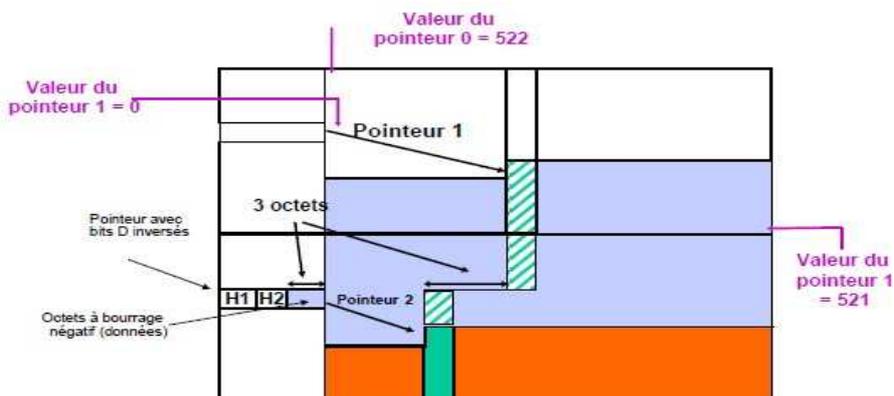
Dans le cas ou le débit de l’affluent est inferieur au débit nominal, donc la capacité de la charge utile ne sera pas totalement utilisée par conséquent des octets de bourrage seront rajoutés.



**Figure.25.Incrémentation du pointeur**

**3.3.1.12..Justification négative :**

Si le débit de l’affluent est supérieur au débit nominal celui-ci va déborder hors de la capacité de la charge utile, par conséquent des octets sont réservés a cet effet dans la section SOH.



**Figure.26.Décrémentation du pointeur**

**3.3.1.1.3. Justification nulle :**

Si le débit de l’affluent et celui nominal sont identiques, alors aucun décalage est fait.

[18]

### 3.4. Synchronisation du réseau 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. Les points les plus importants sont les points de mappage et de restitution des affluents transportés.

Le dispositif général de distribution est de type maître esclave. Chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur l'horloge du niveau supérieur. L'horloge unique de plus fort niveau est appelée horloge de référence PRC (Primary Reference Clock). C'est une horloge au césium de très haute précision, elle est doublée par une horloge secondaire SRC (Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

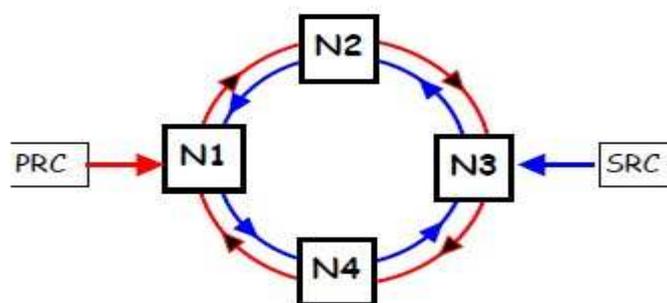
L'architecture du réseau est telle que chaque élément du réseau reçoit au moins deux circuits d'horloge. Dans un réseau en anneau, la référence primaire est injectée sur un nœud qui se charge de la diffuser sur les trames STM vers les autres nœuds. L'horloge secondaire est injectée sur un autre nœud qui la diffuse vers les autres soit sur la 2ème fibre dans le cas d'un anneau bidirectionnel soit sur la fibre de secours. L'horloge secondaire est utilisée en cas de rupture du circuit normal ou en cas d'annonce du nœud N1 d'une perte du rythme de référence.

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

**Sec:** 10111

**DNU:** 1111 (Do Not Use).[14]



**Figure.27.Distribution de l'horloge**

**4. Le multiplexage SDH :**

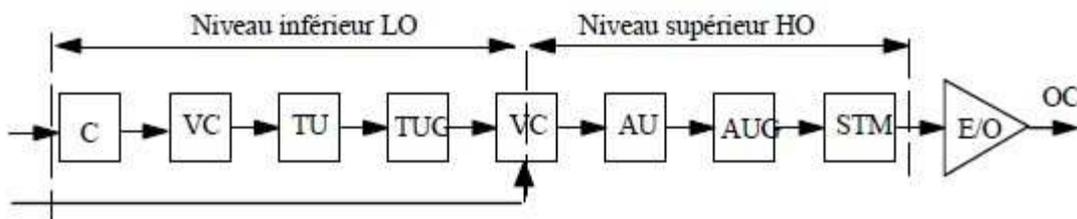
Pour la norme SDH, les niveaux sont organisés hiérarchiquement en STM-n (Synchronous Transport Module, niveau n). Pour SONET ils sont organisés en STS-n (Synchronous Transport Signal, niveau n).

STM-n	Débits/s	Support
STM-1	155Mbits/s	FO, radio, coaxial
STM-4	622Mbits/s	Fibre Optique
STM-16	2,5Gbits/s	Fibre Optique
STM-64	10Gbits/s	Fibre Optique
STM-256	40Gbits/s	Fibre Optique

**Tableau.6.Répertoire des débits de la Hiérarchie SDH**

Lors du multiplexage SDH, les données sont encapsulées dans des blocs (trames) qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus gros jusqu'à obtenir des trames STM. Chaque bloc porte un nom, on trouve : Conteneur (C), Conteneur Virtuel (VC), Tributary Unit (TU), Tributary Unit Group (TUG), Administrative Unit (AU), Administrative Unit (AUG), et Synchronous Transport Module (STM).

Le multiplexage SDH se fait en deux étapes. Un premier niveau, dit niveau inférieur **LO** (Low Order) suivi d'un deuxième niveau, dit niveau supérieur **HO** (High Order). Dans le premier niveau les VC-LO sont multiplexés pour former les VC-HO, en suite, dans le 2ème niveau, les VC-HO sont multiplexées pour former la trame STM.[19]



**Figure.28.Les niveaux de multiplexage SDH**

#### 4.1. Les entités traitées par le SDH :

##### 4.1.1. Le conteneur :

Le conteneur **C<sub>n</sub>** est une entité dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des débits définis. Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le "n" de **C<sub>n</sub>** dépend du débit entrant, par exemple C4 correspond à 139264kbit/s, le C3 pour 44736 ou 34368 Kbit/s (selon continent), le C12 pour 2048kbit/s, le C11 pour 1544 Kbit/s.

##### 4.1.2. Le conteneur virtuel VC-n :

Quand le conteneur **C<sub>n</sub>** est transporté dans le réseau de transmission SDH entre le point d'entrée et le point de sortie par un chemin appelé aussi un conduit ("path"), des bits de gestion appelés POH (Path Over Head" = surdébit de conduit) sont ajoutés au conteneur. L'ensemble forme un conteneur virtuel :  $C-n + POH = VC-n$ .



**Figure.29.Composition du conteneur virtuel**

Les conteneurs virtuels VC sont les éléments de base transportés par le réseau SDH, ils seront multiplexés pour obtenir des blocs plus grands et ainsi de proche jusqu'à l'obtention d'une trame de base STM-1 constituée de 2430 octets.[5,20]

##### 4.1.2.1. Notion du POH (Path over Head):

Le sur-débit de conduit (POH: Path over Head) est généré et ajouté au conteneur à son entrée dans le réseau SDH pour construire le conteneur virtuel. Le POH sert à l'échange de données de service entre les émetteurs et récepteurs de même niveau, son contenu sera extrait en sortie du réseau SDH.

## 4.1.2.1.1. HPOH (High Path over Head):



Figure.30.HPOH (High Path Over Head)

- **J1** : Détection du conduit (path trace).
- **B3** : Somme de contrôle de parité pour la surveillance du conduit.
- **C2** : Détection du contenu utile du VC.
- **G1** : Etat du conduit.
- **F2** : Canal de service.
- **H4** : Détection de multitrames.
- **F3** : Signalisation de protection du conduit.
- **N1** : Canal operateur de réseau (Surveillance de connexion en tandem).

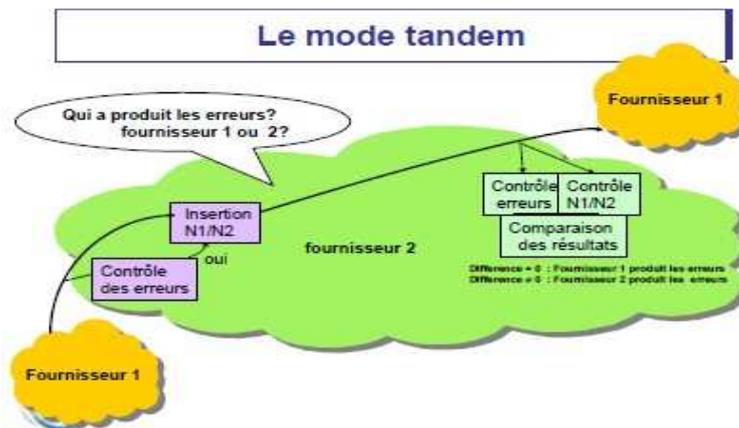


Figure.31.Schéma du mode Tandem

## 4.1.2.1.2. LPOH (Low Path over Head):

- **V5**: La vérification d'erreur, et le G1 du VC-12.
- **N2**: Besoins d'opérateurs.

- **J2**: Indicateur de conduit.
- **K4**: Réserve pour les futures utilisations. [18]

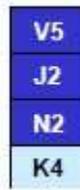


Figure32.LPOH (Low Path over Head)

#### 4.1.3.L'unité d'affluent TU-n :

L'unité d'affluent **TU<sub>n</sub>** (Tributary Unit) est composée du VC<sub>n</sub> et d'un pointeur associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VC<sub>n</sub> dans la trame de transport utilisée. Pour pouvoir localiser un VC dans une trame SDH sans que celui-ci ne soit pas placé toujours à la même position, on utilise un pointeur qui indique l'adresse relative du VC par rapport au début de la trame. Le pointeur associé au VC constitue ce qu'on appelle une unité tributaire.

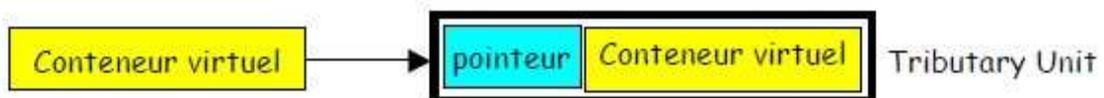


Figure.33.Composition de la TU

#### 4.1.4. Le Groupe d'Unité d'Affluent TUG-n :

Le Groupe d'Unités tributaires **TUG** (Tributary Unit Group) représente une structure virtuelle de la trame résultant dans le multiplexage des unités tributaires et non pas une unité physique. Il consiste un regroupement des TU dans un espace réservé d'une entité supérieure, TUG supérieur ou VC4. On peut considérer que le TUG définit des règles de rangement des TU dans cette entité supérieure, et à travers elle, dans la trame de transport, on peut aussi avoir :

- Le TUG 2 regroupant 3 TU12 ou 1 TU2.
- Le TUG 3 regroupant 7 TUG2 ou 1 TU3.

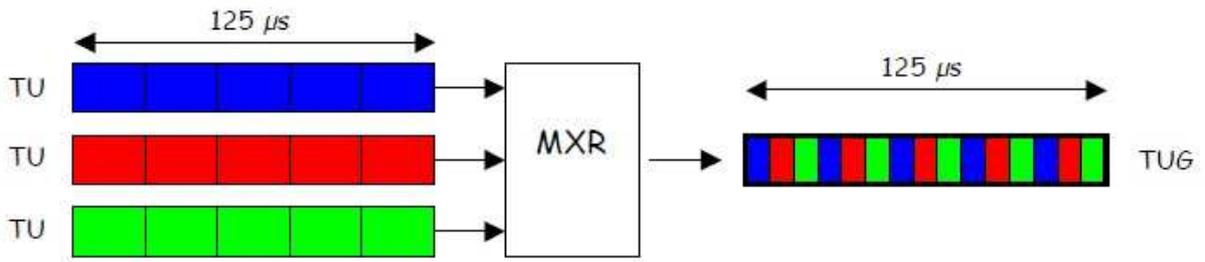


Figure .34. Construction de la TUG

**4.1.5. L'Unité Administrative AU-n :**

L'unité administrative (Administrative Unit), AU4, est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du VC4 dans la trame transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4 dans la trame . Le Groupe d'Unité Administrative, AUG, représente une structure virtuelle de la trame et pas une nouvelle entité physique. AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport utilisée. Les trames de transport STM-n (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 Over Head). 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.[20]

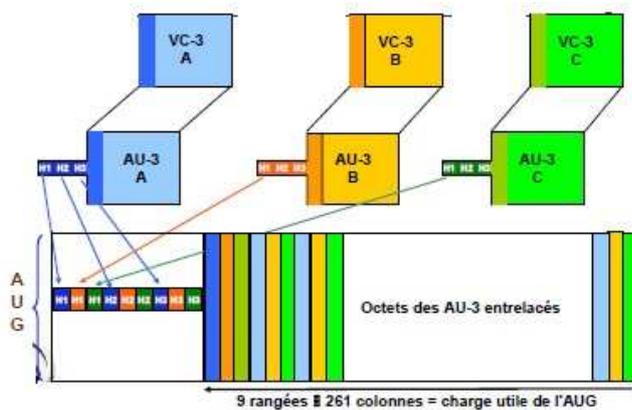


Figure.35.L'unité administrative AUG

## 4.2. Structure de la SDH :

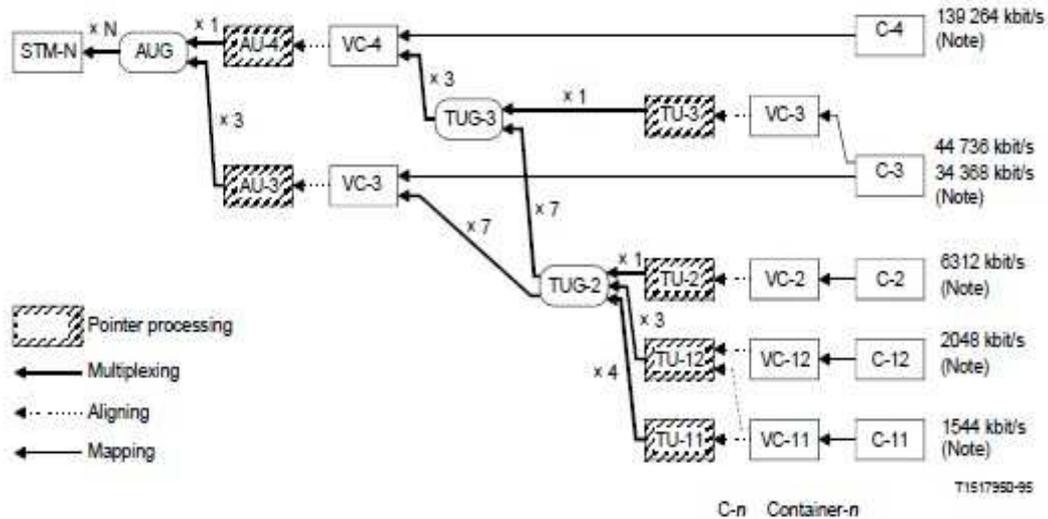


Figure.36. Structure du multiplexage SDH

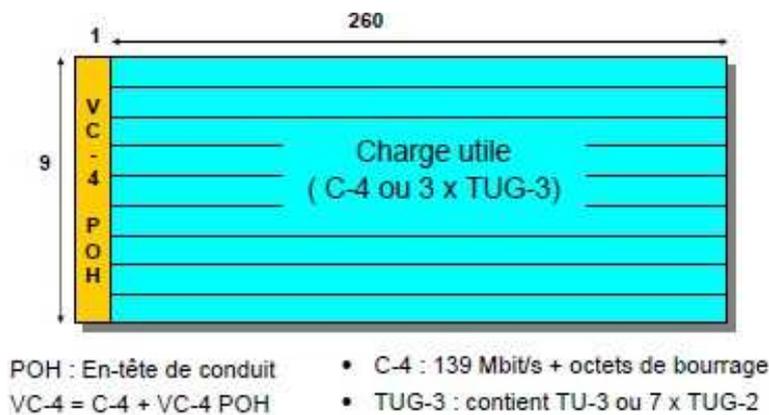
- **Projection (Mapping) :** Un processus a employé quand des tributaires sont adaptés dans VCs en ajoutant les bits de justification et l'information de POH.
- **Alignement (Aligning) :** Ce processus a lieu quand un indicateur est inclus dans une unité tributaire (TU) ou une unité administrative (AU), pour permettre au premier byte du VC d'être localisé.
- **Multiplexage (Multiplexing) :** Ce processus est employé quand des signaux multiples d'ordre réduit du trajet sont adaptés dans un signal d'ordre évolué du trajet, ou quand des signaux d'ordre élevé du trajet sont adaptés dans une section multiplex.

## 4.2.1. Insertion d'affluent 140Mbits/s dans un STM-1 :

Tout d'abord, il faut élaborer le conteneur C4 comme le montre la structure du multiplexage synchrone après récupération d'horloge et la régénération de l'affluent. Le conteneur C4 comprend 180 blocs de 13 octets chacun, soit au total 2340 octets ou 18720 bits, répartis en 9 lignes de 20 blocs. Sachant que la périodicité est de 125ms, on a un débit de 149,760 Mbit/s. Comme le débit du conteneur est supérieur au débit affluent de 139,264 Mbit/s (voir Structure), tous les bits ne seront donc pas utilisés pour transporter des bits d'information. Dans un bloc, il y a 13 octets répartis comme suit : 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de sur débit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en faite 17406 bits

d'information dans le conteneur, soit un débit de 139,248 Mbit/s .Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative de 16Kbit/s.

Pour obtenir un Conteneur Virtuel VC4, on rajoute un Sur débit de Conduit appelé POH, on obtient ainsi 1 octet de plus pour chaque ligne, soit 9 octets de plus par rapport à C4.



**Figure.37.Structure du VC-4**

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer différentes informations sur le conteneur tel que la trace du conduit ( J1) qui permet une identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur, la surveillance des erreurs par contrôle de bit du VC4 (B3), étiquette du signal de conduit (C2) qui permet de connaître la composition du conteneur tel que le tableau suivant, l'état du conduit (G1) qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante, le contrôle de qualité (F3), la voie de service (F2) pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC4 .[19,20]

#### 4.2.3..Liaison physique optique :

Le réseau de transmission SDH utilise des fibres optiques monomode, comme support physique pour relier les MIE. Les équipements SDH ont des paramètres spécifiques selon leurs interfaces optiques, elles sont relatives aux quatre débits normalisée : STM-1 STM-4 STM-16 STM-64.

Pour une boucle SDH, on utilise deux fibres optiques unidirectionnelles, En cas de coupure optique, il y aura rebouclage au niveau du MIE entre la fibre normal et la fibre secourue permettant de continuer son fonctionnement en boucle.[15]

### 4.3. Le réseau SDH :

#### 4.3.1. Les équipements mis en œuvre dans le réseau SDH :

Un réseau SDH représente un ensemble d'éléments réseau (NE), connecté via des câbles à fibre optique. Ces équipements ont été conçus pour remplir les principales fonctions à assurer par le réseau telle que satisfaire la demande c'est-à-dire la fourniture rapide de capacités aux clients, router le trafic de manière efficace en optimisant la capacité disponible, permettre la gestion du réseau et du trafic.

Voici donc un schéma général qui représente le réseau SDH :

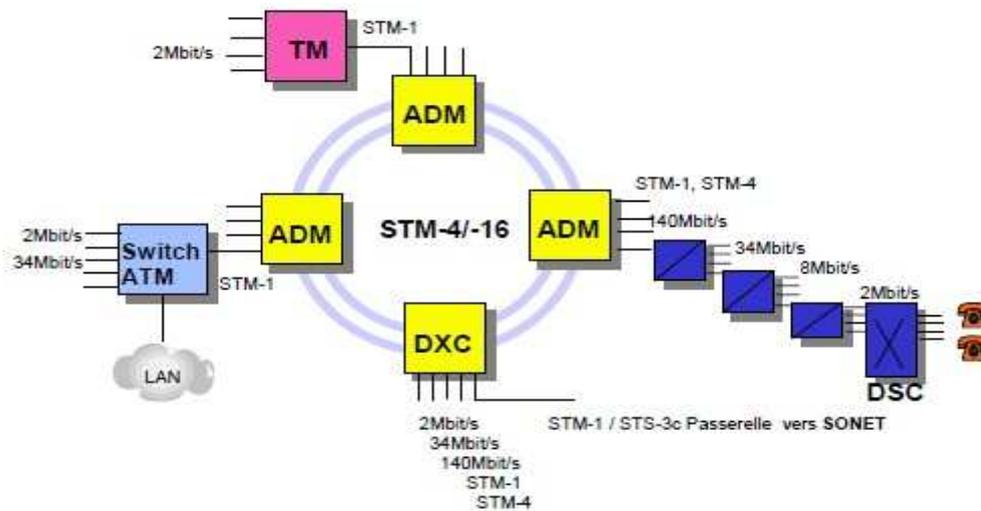


Figure.38.Schéma générale d'un réseau SDH

- **ADM:** Add Drop Multiplexer.
- **DXC:** Digital Cross Connect.
- **TM:** Terminal Multiplexer.
- **DSC:** Digital Switching Center.
- **LAN:** Local Area Network.[18]

Les réseaux SDH font intervenir quatre types de composants :

#### 4.3.1.1. Les régénérateurs :

Ces composants permettent de régénérer le signal SDH subissant une atténuation et des distorsions lors de la transmission.

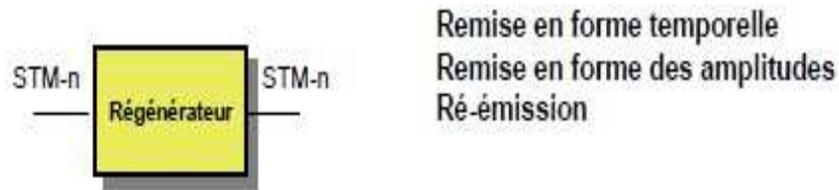


Figure.39.Régénérateur

#### 4.3.1.2 Notion de multiplexeurs SDH:

Le multiplexeur est un équipement qui permet de mettre en relation plusieurs utilisateurs, à travers une liaison partagée, en point à point. La fonction de base assurée par le multiplexeur consiste à charger (à l'origine) et à extraire (à l'arrivée) les affluents des différents clients qui ont été assemblés dans des trames STM-n véhiculées par le réseau.

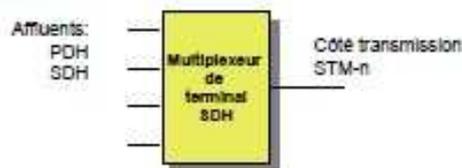


Figure .40.Multiplexeur SDH

#### 4.3.1.2.1. Multiplexeurs Insertion-Extraction MIE (ou bien ADM, Add Drop Mux) :

Ce type de multiplexeurs assure :

- 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 ".
- des fonctions de brassage de VC12 sont introduites dans le MIE.

Ces équipements sont largement utilisés dans la constitution des anneaux SDH en fibre optique.

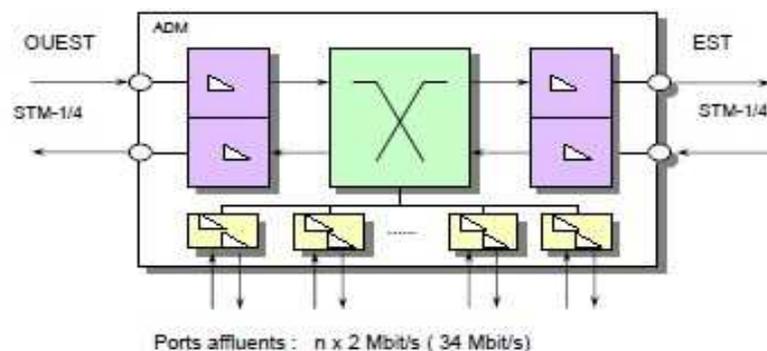


Figure.41.Multiplexeur Insertion/Extraction

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. 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.

#### 4.3.1.2.2. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS) :

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones dans un signal de ligne STM-1 résultant. Dans ce type de multiplexage, on ne parle plus de configuration en anneau, mais de configuration en point à point. Il existe deux configurations en point à point possible : la première reliant deux MTS, et la seconde reliant un MTS à un MIE qui est lui en anneau. Cette deuxième configuration est la plus employée au sein de réseau des opérateurs. [15]

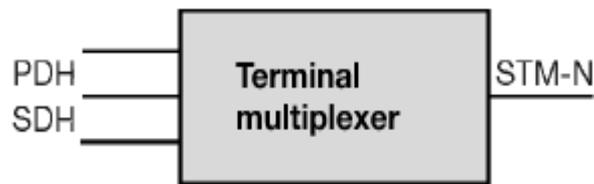


Figure .42 .Multiplexeur Terminal Simplifié

#### 4.3.1.2.3. Les brasseurs numériques (DXC, Digital Cross Connect) :

Ils sont destinés à assurer la connectivité et la flexibilité de la bande passante entre les différentes portions de réseau. Ils modifient l'affectation des flux d'information entre l'affluent d'entrée et celui de sortie, ils assurent aussi la commutation et l'établissement de liaisons numériques, multiplexage et démultiplexage PDH/SDH, aussi la création des niveaux SDH supérieurs.

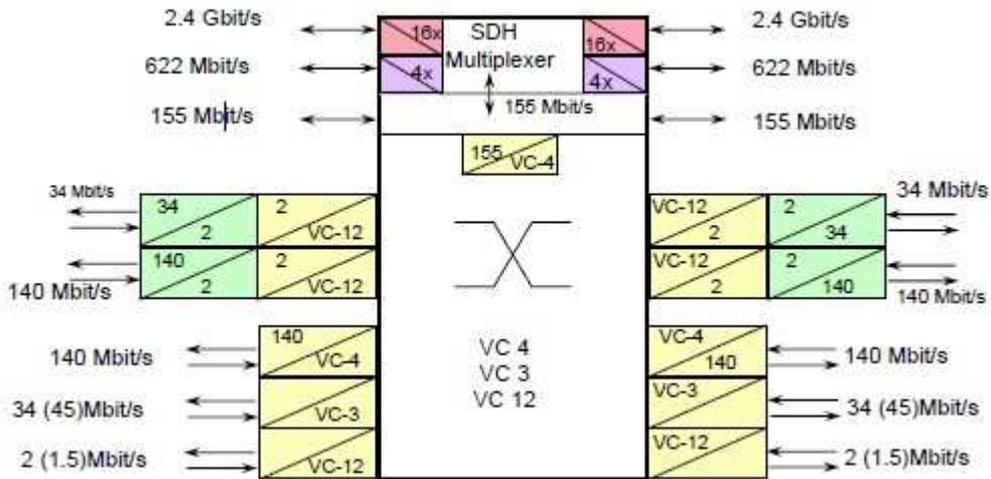


Figure.43.Brasseur SDH

Le brasseur est composé de plusieurs modules : module d'entrée et de sortie, module de matrice, module d'horloge et module de commande.

4.3.1.3. Schéma d'un canal de transmission :

Le schéma ci-dessus nous montre l'utilisation des équipements SDH pour former un canal de transmission [18].

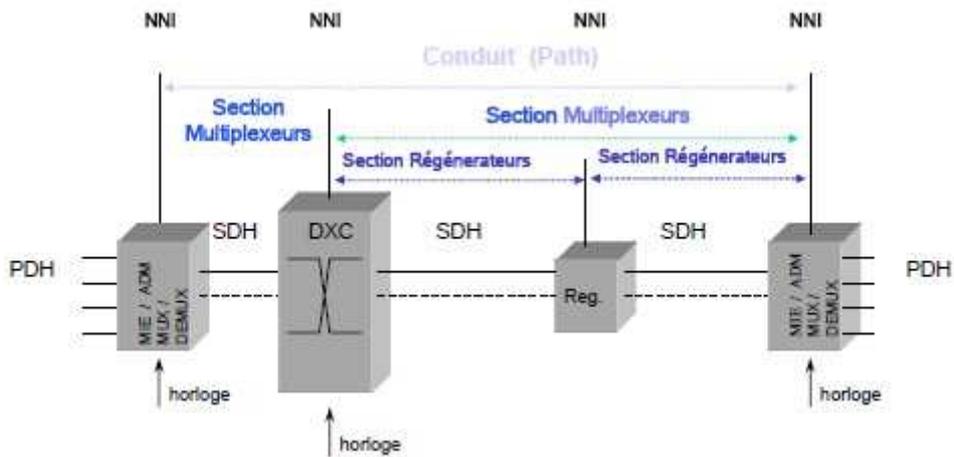


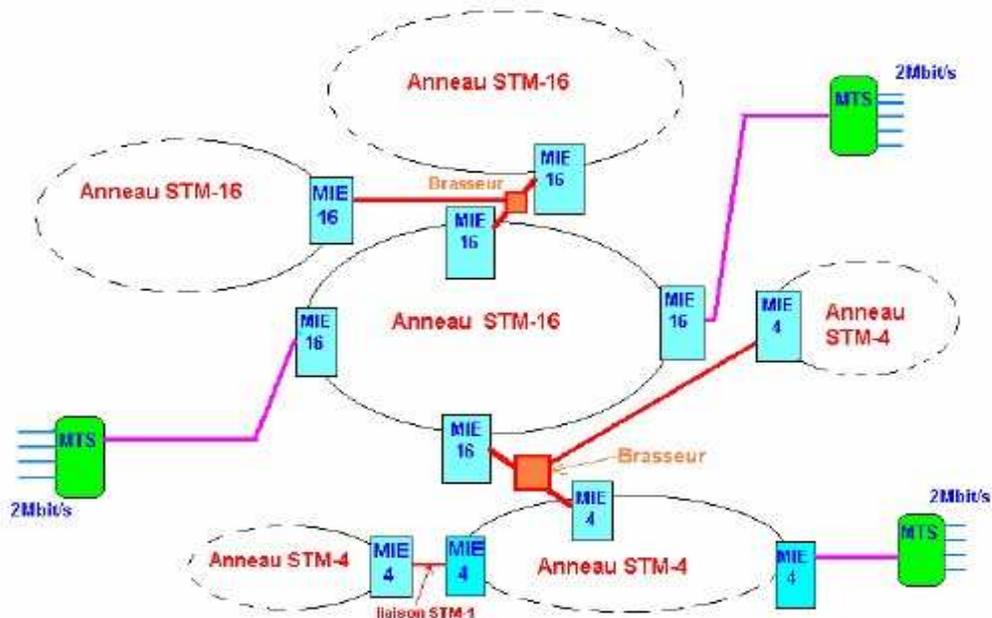
Figure.44.Canal de communication

4.4. Les topologies du réseau :

Un réseau SDH est un ensemble d'éléments réseau (ADM, TM...etc.) interconnectés entre eux par des câbles a fibres optiques. Une topologie est une structure géométrique des éléments réseaux et les lignes de transmission. L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux a ces considérations (L'efficacité, la fiabilité et la rentabilité d'un réseau dépendent

largement de sa topologie), cependant, on constate dans la pratique un mélange de topologies, anneau, maillé, arborescent et parfois on utilise d'autre topologie point a point ou en bus.

La figure suivante nous décrit l'infrastructure du réseau SDH.



**Figure.45. Infrastructure du réseau SDH**

On remarque que la topologie dominante dans cette infrastructure du réseau SDH est la topologie en anneau. Un réseau en anneau est une chaîne, repliée sur elle-même et refermée, constituée uniquement de nœuds MIE (ou ADM pour Add-Drop Multiplexer) et ne possédant pas de nœud terminal. Ce type de réseau joue un rôle clé en SDH/SONET grâce aux mécanismes performants d'auto cicatrisation (délai de rétablissement < 50 ms) du réseau en cas de défaillance (par exemple: câble coupé, panne d'électricité ou incendie dans un nœud du réseau). Les applications des réseaux en anneau sont nombreuses : réseaux d'accès aux réseaux nationaux, en passant par les réseaux locaux et régionaux.[19]

Chaque anneau comporte soit des STM-4(622Mb/s) ou des STM-16(2.5Gb/s),ces trames peuvent être représentées respectivement comme suit :

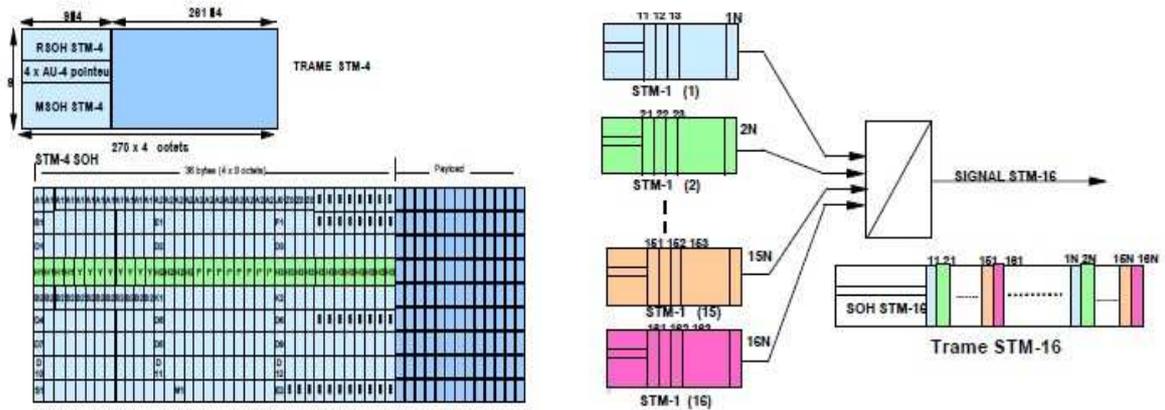
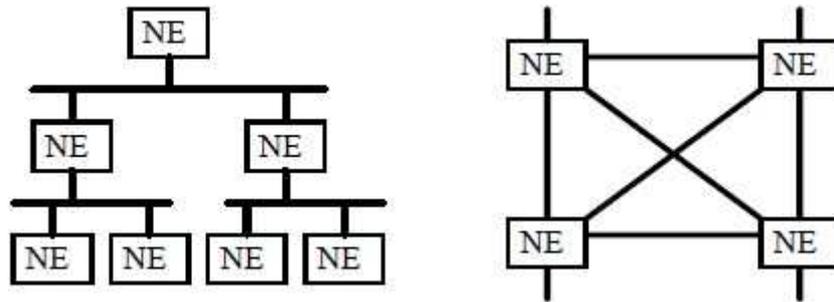


Figure.46.Trames STM-4 et STM-16

Voici donc la représentation d'autres topologies existante :



Réseau arborescent

réseau maillé

Figure.47.Réseaux arborescent et maillé

4.4.1. Topologie point à point

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



Figure.48.Structure de la topologie pont à point

4.4.2. Topologie en anneau :

4.4.2.1. Les anneaux SDH :

La combinaison SDH/FO permet de réaliser une structure en anneau particulièrement robuste et qui permet de sécuriser le transport à un coût plus raisonnable que des solutions

traditionnelles en mode actif/ « standby » mises en œuvre dans les réseaux PDH, ce que demandent les clients du réseau SDH (c'est-à-dire les réseaux PSTN/ISDN/ ATM/GSM ...ou les circuits loués).

Les réseaux auto cicatrisants sont divisés en deux catégories :

- Les anneaux unidirectionnels.
- Les anneaux bidirectionnels.

#### 4.4.2.1.1. Architecture en anneaux unidirectionnels (monofibres):

Les trafics émissions et réceptions circulent dans le même sens sur l'anneau, sur la fibre dite active. L'autre fibre de protection peut être utilisée, soit pour la duplication du trafic, soit pour transporter un STM-n vide ou un trafic non prioritaire.

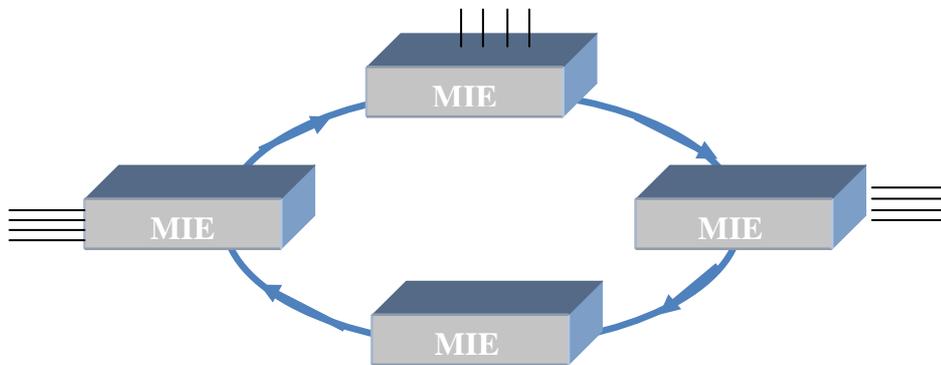


Figure.49. Architecture en anneaux unidirectionnels

#### 4.4.2.1.2. Architecture en anneaux bidirectionnels (2 fibres) :

Les trafics émissions et réceptions circulent en sens opposés sur l'anneau et utilisent donc les deux fibres de la paire. Par conséquent, la moitié de la bande passante doit être réservée pour la protection, afin de permettre une réorientation de trafic en cas de défaillance.

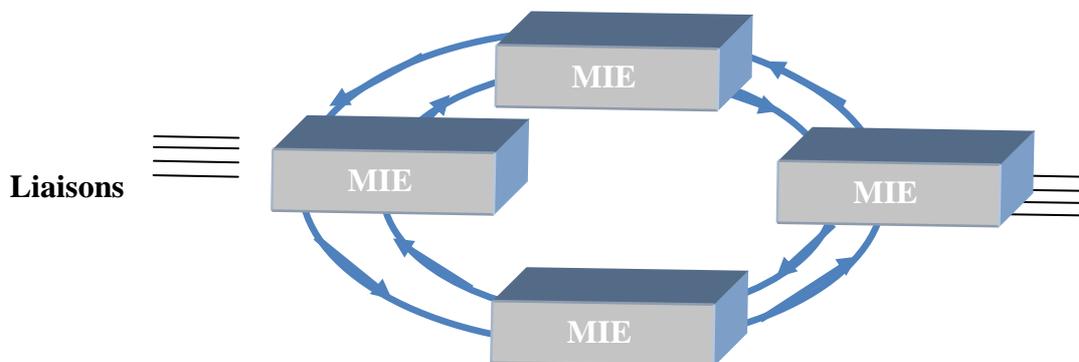


Figure.50. Architecture en anneaux bidirectionnels

#### 4.4.3.1.3 .Les anneaux bidirectionnels (4fibres) :

Dans ce cas, une paire de fibre est réservée pour la protection. Cette paire peut être éventuellement utilisée pour un trafic non prioritaire et pour de la protection entre nœuds voisins.[15]

### 4.5. La Sécurisation dans SDH

#### 4.5.1. Drag and Drop

La liaison de deux anneaux par un seul nœud rend très critique ce point d'interconnexion en cas de panne. Pour sécuriser cette interconnexion, une solution consiste à interconnecter deux anneaux par deux nœuds adjacents créant ainsi une arête commune aux deux anneaux.

La manière dont circule l'information à la jonction des deux anneaux s'appelle le "Drag and Drop". Cette technique effectue une duplication du trafic sur les deux nœuds d'interconnexion. Considérons un flux originaire d'un nœud de l'anneau 1 destiné à un nœud de l'anneau 2. En fonctionnement normal, le flux est dupliqué en  $i1$  et un vote en  $j2$  extrait une seule des composantes. Le couple  $(j1, i2)$  joue le même rôle pour un flux circulant dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'anneau 1 à destination d'un nœud de l'anneau 2. Cette technique autorise la panne d'une des liaisons  $(i1, j1)$ ,  $(i2, j2)$ ,  $(i1, i2)$ ,  $(j1, j2)$  ainsi que la panne d'une seul ou des 2 ADM de  $i$  ou  $j$ .

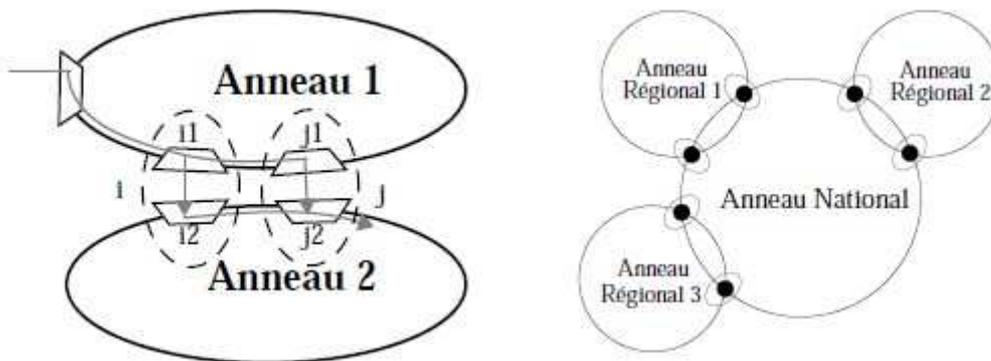


Figure .51. La Sécurisation dans Drag and Drop dans SDH

#### 4.6. La protection dans les réseaux SDH :

Pour résoudre les problèmes de défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau

Deux mécanismes de protection d'anneau sont disponibles :

- La protection de conduit.
- La protection de section de multiplexage.

##### 4.6.1. La protection de sous-réseau SNCP ( Sub-Network Connexion Protection) (1+1) :

Ce type de protection consiste à protéger le trafic conduit par conduit d'un anneau a deux fibres, chacun étant terminé par un basculeur. Lorsqu'une fibre est coupée, autant de basculements de conduits se produiront qu'il y aura de conduits empruntant cette fibre. Le trafic est diffusé en permanence sur deux chemins dans le réseau. Puis, a l'autre extrémité de la portion protégée du conduit, on choisit la branche sur laquelle le trafic est de meilleure qualité au niveau de chaque affluent TU-2 ,TU-3 et AU-4.L'objectif recherché dans ce type de protection étant de limiter l'activation des mécanismes de protection a des segments de conduits.[16]

##### 4.6.2.La protection de la section de multiplexage MSP ( Multiplexe Section Protection) :

Ce type de protection consiste à réserver en secours un circuit équivalent au circuit protégé, en cas d'incident au circuit normal, le récepteur est commuté sur la ligne de protection. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel.

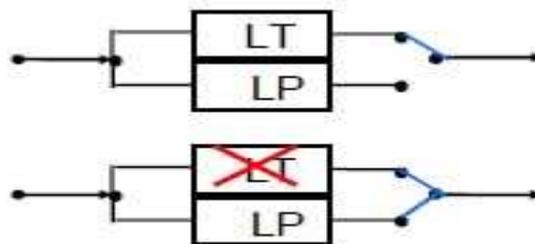


Figure.52.La protection linéaire 1+1

##### 4.6.2.1. La protection 1 :1 :

Elle consiste à utiliser simultanément deux dispositifs identiques (fibres) à demi-charge, si l'un est défaillant, le deuxième est utilisé à pleine charge. Le trafic est transmis sur

une ligne seulement, et aucun trafic de basse priorité est transmis sur la ligne de protection. En cas d'incident, le générateur et le récepteur commutent sur la ligne de protection.

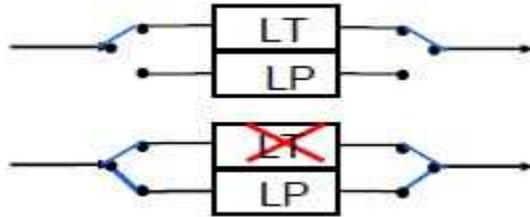


Figure.53. La protection linéaire 1 : 1

#### 4.6.2.2. La protection M : N :

Cette protection est dérivée de la protection 1 : N, elle consiste à réserver M dispositifs de protection pour protéger N dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH, N conduits actifs seront protégés par M conduits de secours. Ce système de protection est utilisé pour les lignes grandes distances. En cas d'incident, la ligne de protection prend en charge le trafic de la ligne défectueuse. [18]

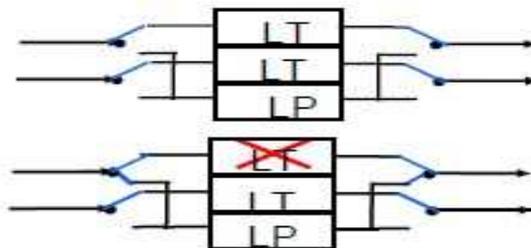


Figure.54. La protection linéaire M : N

#### 4.6.3. La protection MSP des anneaux :

##### 4.6.3.1. La protection dédiée de la section de multiplexage MS-DPR (MS-Dedicated Protection Ring) :

Pour chaque trafic traversant l'anneau, une capacité équivalente est réservée sur tout l'anneau, grâce à une deuxième fibre. Par conséquent, le nombre maximum de conduits traversant l'anneau correspond au nombre maximum de conduits sur une liaison entre deux ADM adjacents.

Les anneaux unidirectionnels sont des anneaux à deux fibres et peuvent être à protection de section ou protection de conduit.

Le choix du type de l'anneau et de son mécanisme de protection associé dépend de plusieurs paramètres, tels que la taille du réseau et le type de trafic sur le réseau.

Néanmoins, les anneaux bidirectionnels conviennent mieux pour des trafics équilibrés entre chaque nœud (réseau national par exemple) et que les anneaux unidirectionnels à protection de conduits sont plus adaptés à des trafics dirigés vers un nœud particulier (hub par exemple).

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 disponibles. [4,18]

### **5. Conclusion :**

La SDH est une technologie qui répond à plusieurs demandes du réseau de transmission, son association dans les réseaux de télécommunication, aura un impact considérable sur tous les aspects de services offerts à la clientèle. La structure de sa trame a permis l'élaboration d'un modèle architecturale du réseau et la description des équipements par blocs fonctionnels, ce qui conduit à faciliter le développement et l'utilisation des applications de gestion de réseau dans un monde multi-industriels et multi-opérateurs. Aussi l'importance de sa caractéristique de sécurisation du trafic en temps réel permettra la satisfaction totale de la bande passante des abonnés, et des réseaux Backbone haut débit.

### 1. Préambule :

Pour satisfaire les besoins des opérateurs, les banques, les entreprises, le commerce électronique et communications multimédia et fournir une meilleure qualité de service à la clientèle en terme débit, ALGERIE TELECOM dispose d'un réseau multiservice pouvant supporter les services nécessaires tels que voix, vidéo, l'internet, l'interconnexion des réseaux locaux d'entreprises et la téléphonie fixe et mobile.

Dans ce chapitre, on va s'intéresser au dimensionnement de ce réseau, qui tient en compte l'aspect sécurisation supervision et synchronisation pour une sauvegarde totale du trafic.

### 2. Dimensionnement des sites :

Chaque site **AT** dispose d'une alimentation : secteur(SONELGAZ) avec un atelier d'énergie (redresse+ batterie GE), ces deux derniers servent pour le secours en cas de coupure d'électricité .Les batteries GE assurent une autonomie= 6Heures, ils sont équipés de contacteurs pour le déclenchement « Automatique »en cas de coupure. Tous les équipements AT sont alimentés par un courant continu à 48V.

En général, les sites AT sont équipés par :

- ✓ Un central téléphonique commutateur) et des équipements de transmission Fibre Optique ou Faisceaux Hertiens.
- ✓ Equipements ADSL.
- ✓ Equipements des spécialisés ( modem et châssis 2Mb/s).
- ✓ Equipements BTS (WLL et MOBILIS).

### 3. Dimensionnement de la liaison CA-2 a 2.5Gb/s :

Cet équipement est composé de :

- ✓ Cartes de lignes SL 16 (2 .5 Gb/s).
- ✓ Cartes d'alimentation.
- ✓ Cartes de lignes SL 4.
- ✓ Cartes FE a 8ports.
- ✓ Cartes de control communication.
- ✓ Cartes programme (carte mère).

- ✓ Cartes lignes SLQ1 (4ports STM-1).

Les différents types de STM utilisés pour chaque site sont les suivants :

	SITE 1	SITE 2	SITE 3	SITE 4	SITE 5	SITE6
STM 1						
STM 4						
STM 16						

**Tableau.7 .Type de STM utilisé pour chaque site**

Les sites représentés dans le tableau, sont connectés via des câbles à fibre optiques bidirectionnels, on trouve deux câbles du premier au deuxième site un pour le chemin normal, et l'autre pour le chemin de secours, en cas de coupure. Par contre les autres sites sont connectés par un seul câble .Le choix de la topologie se fait selon la zone ou se trouve les sites. Cette topologie est donné dans le schéma suivant :

4. Topologie de la liaison SDH :

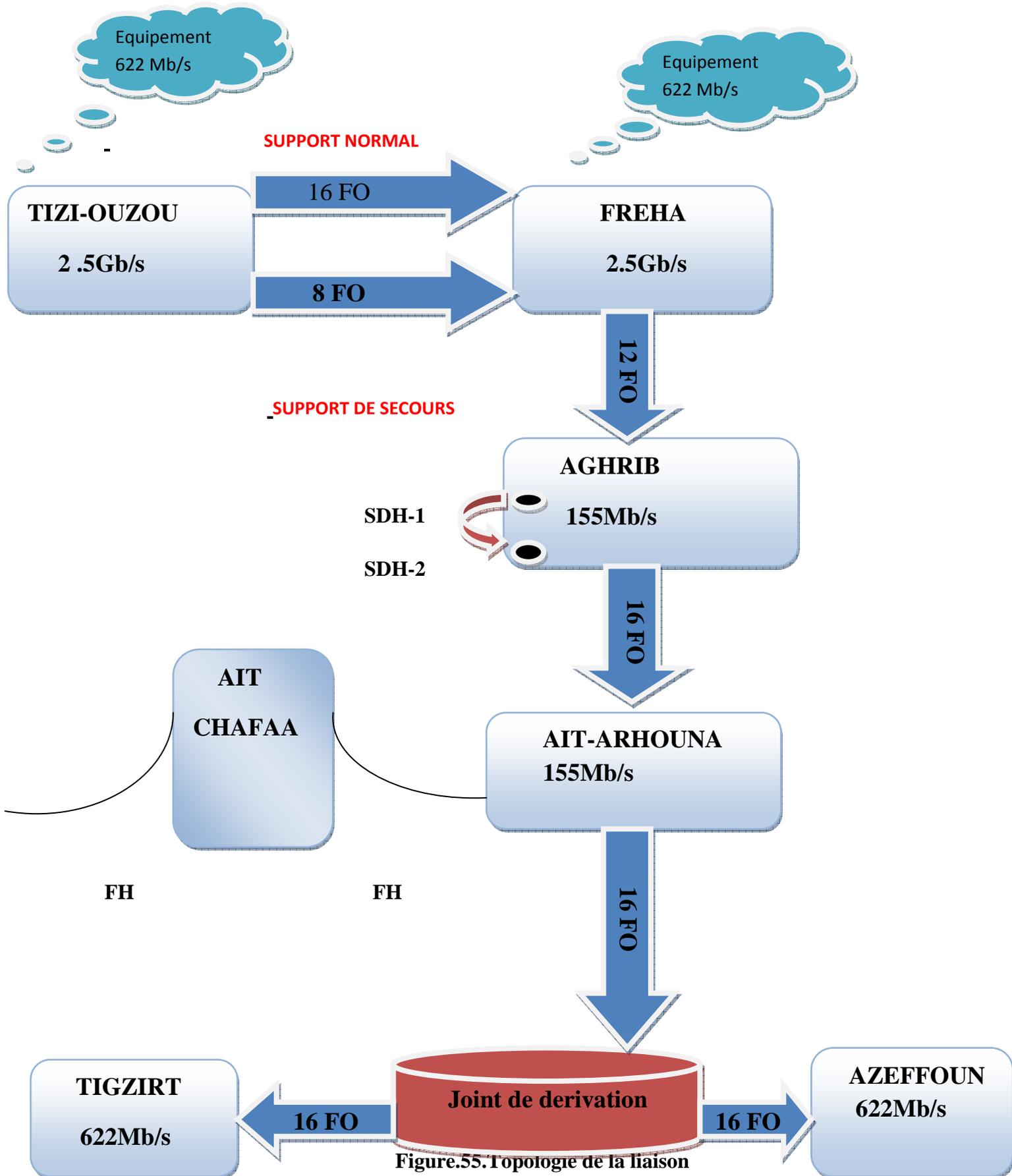


Figure.55. Topologie de la liaison

#### 4.1. Type d'éléments utilisés lors de la transmission pour chaque site :

##### FREHA :

- ❖ Extraction 1 STM-1 en E1 de la carte PQ1(2.5Gb/s).
- ❖ 2 FE (2 VC-3):100 Méga.
- ❖ Renvoyer 1 STM1 en E1 622Mb/s.

##### AGHRIB:

- ❖ Pour cette région on a utilisé **1FE** et **10 E1**.
- ❖ **E1** : Sont utilisés pour la téléphonie, les spécialisés (Banques, APC ....), et ADSL.

##### AIT-ARHOUNA :

Au niveau du site il existe une BTS WLL et BTS MOBILIS, donc 2 E1 sont utilisés pour ces dernières.

Les autres E1et 1FE sont transférés physiquement sur une liaison FH (faisceaux hertziens) vers AIT-CHAFAA .

##### AZEFFOUN:

- ❖ 1 STM-1 de 1- 63.
- ❖ **3 FE:**
  - ✓ Un utilisé pour **ADSL FAWRI**.
  - ✓ L'autre pour **EASY**.
  - ✓ Et le troisième pour **ADSL ANIS**.

##### TIGZIRT :

- ❖ **3 STM** sont utilisés :
  - ✓ Un STM en E1
  - ✓ 2 STM en FE (avec utilisation de 3ports en 100 Méga c'est-à-dire 2VC3).

4. Architecture du réseau :

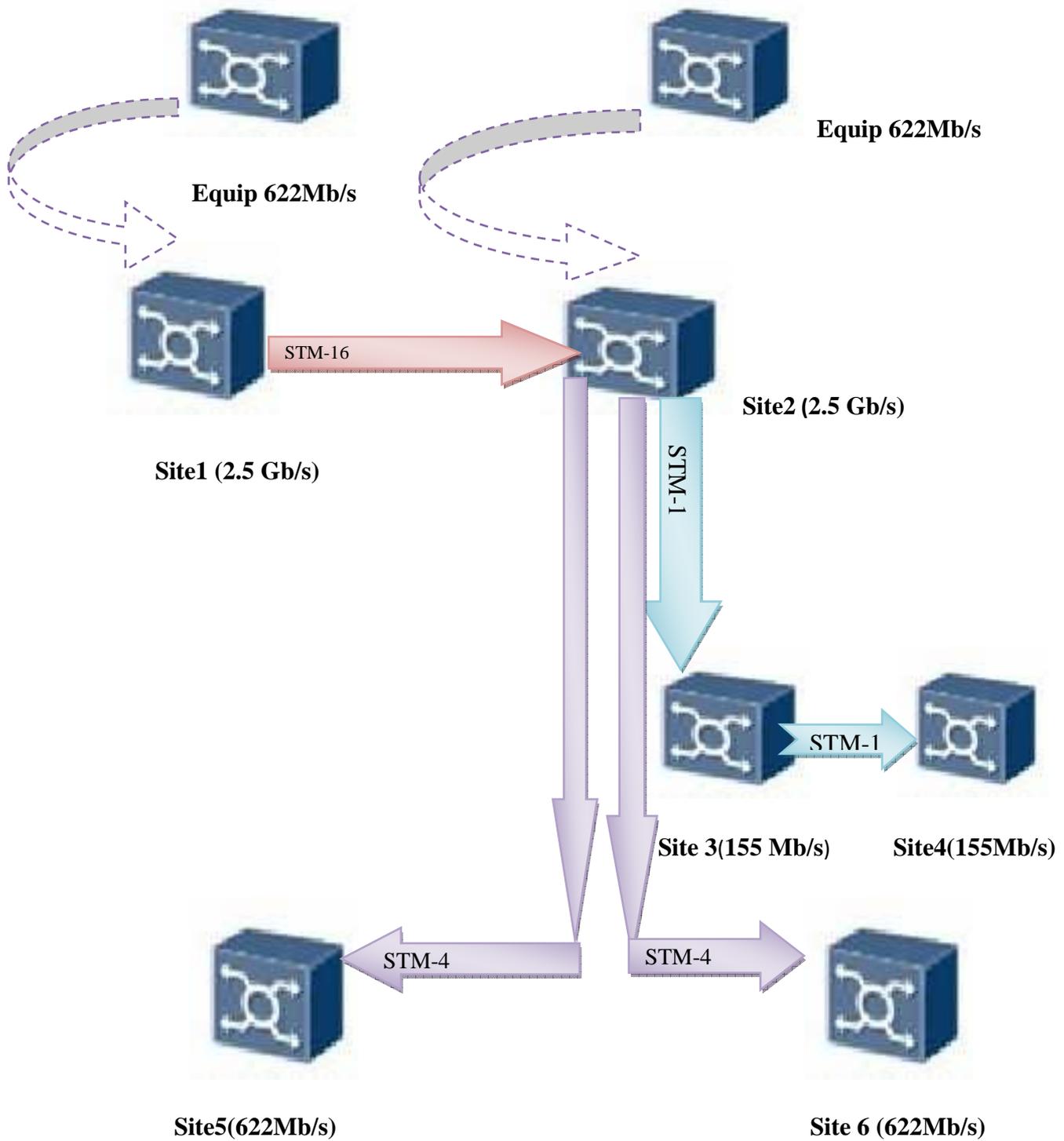


Figure.56. Architecture du réseau 2,5 Gb/s (Tizi-Ouzou /Freha et ses arrières)

Cette architecture est la représentation des différents sites par leurs équipements équivalent, et les différentes trames STM utilisées afin d'indiquer les débits correspondant pour chaque site dans cette zone.

### **5. Conclusion:**

Ce chapitre présente les différents types d'éléments associés pour transiter les trafics tels que STM-1(155Mb/s), STM-4(622Mb/s), STM-16(2.5Gb/s), FE (Fast Ethernet) via des câbles a fibres optiques dont le nombre de fibres se diffère d'un site a un autre ,du centre CA2 ver les différentes destinations liées a cette liaison passant par un site de cross-connexion ,et la topologie de la liaison et son architecture .Pour cela la société ALGERIE TELECOM a disposé d'un équipement OPTIX OSN 3500,et d'un logiciel gérant cet envoi de données qui est le T2000LCT .

### 1. Aperçu sur la société HUAWEI :

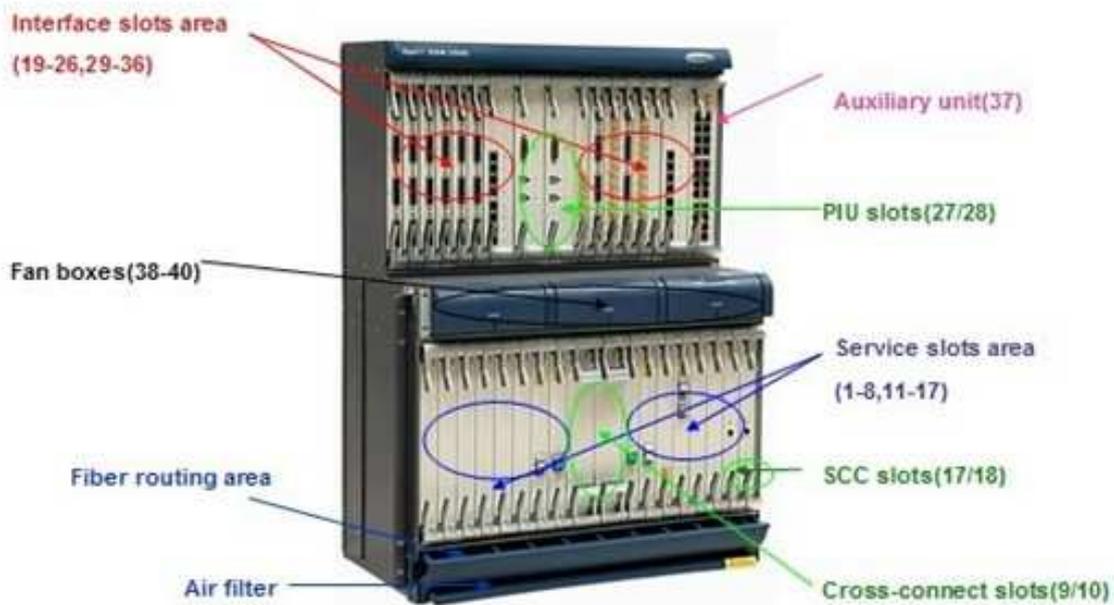
HUAWEI est une entreprise dont le siège social se trouve en Chine, active dans le secteur des technologies de l'information et de la communication(TIC).Elle fournit des matériels, des logiciels et des présentations de services pour les réseaux de télécommunications des opérateurs et les réseaux informatiques des entreprises, il est parmi les cinq premiers équipements à l'échelle mondiale.

Un des principaux fournisseurs sur le marché optique global, la solution optique de HUAWEI Inclut un ensemble complet des nanomètres et de quatre produits de série, solution de DWDM, solution de SDH, solution optique intelligente de transmission et solution de SONET.

### 2.Définition de l'équipement :

**OPTIX OSN 3500 (2.5Gb/s) :** pour Intelligent Optical Transmission Système, est un système qui es principalement utilisé dans la couche de convergence( STM-16) et la couche dorsale du réseau ,appliqué pour les transmissions en métro, il transmet les services de voix et de données sur la même plate forme avec une grande efficacité .C'est un système multi-ADM permettant la construction des liaisons point a point ,liaisons en anneau et aussi maillées a un débit de 2.5Gbt/s ou 10Gb/s, généralement associé avec d'autre OPTIX OSN (utilisé par AT).supporte les protections MSP, MS-SPR et SNCP. Cet équipement intègre les technologies suivantes :

- ✓ Hiérarchie numérique synchrone (SDH).
- ✓ Hiérarchie numérique plesiochrone (PDH).
- ✓ Ethernet.
- ✓ Mode de transfert asynchrone (ATM).
- ✓ Multiplexage à longueur d'onde (WDM).
- ✓ Réseau de données numériques (DDN).
- ✓ Zone de stockage réseau (SAN).
- ✓ Réseaux optiques commutés automatiquement (ASON).
- ✓ Technologies micro-onde.



**Figure.57. Structure de l'équipement HUAWEI OSN 3500**

- Interface slots area : slots des cartes interfaces.
- Auxiliary unit : les unités auxiliaires.
- PIU slots(27,28) : slots (27 ,28) des cartes d'alimentation.
- Fan boxes : les ventilateurs.
- Service slots area : slots des cartes de services.
- Fiber routing area : zone de routage de fibres.
- SCC slot : slot des SCC.
- Air filter : les filtres d'air.
- Cross Connect slot : slots des cartes cross connexion.

### 3. Caractéristiques de l'OPTIX OSN 3500 :

<b>Dimensions de substrat</b>	498mm(W) X 287mm (D)X 700mm (H)
<b>Capacités de commutation</b>	Packet: 100 Gbit/s. TDM: 200 Gbit/s (high order), 20 Gbit/s (low order)
<b>Services slots</b>	15 slots pour les carets de traitements et 16 slots pour les cartes d'interfaces
<b>Interface mise en charge</b>	<p><b>Interfaces de transport de paquets :</b> E1, STM-1, FE/GE/10GE.</p> <p><b>Les interfaces MSTP :</b> STM-64/16/4/1, E1/E3/E4/T1/T3, FE/GE/10GE, DDN, IMA/ATM, SAN.</p> <p><b>Les interfaces WDM :</b></p> <p>40-canaux interfaces DWDM, conformes a ITU-T G.694.1</p> <p>8-canaux interfaces CWDM, conformes a ITU-T G.694.2</p>
<b>Alimentation</b>	48V DC; 110/220V AC (module externe)
<b>Environnement d'exploitation</b>	<p>Température d'humidité relative :</p> <p>A long terme de 0°C a 45°C et de 10% a90%.</p> <p>A court terme de -5°C a 55°C et de 5% a 95%</p>
<b>La synchronisation d'horloge</b>	<p>Source d'horloge de ligne</p> <p>Source d'horloge d'affluent</p> <p>Deux entrées externes d'horloge/Sorties (2Mb/s)</p>
<b>Interfaces auxiliaires</b>	Interface ligne de service, interface de connexion NNI, interface a distance de maintenance, de gestion interfaces séries, interface 10M/ 100M, la mise en service d'interfaces d'alarmes.

Tableau.8.Spécification de l'équipement

#### 4. Présentation de la simulation :

Configuration de la liaison SDH 2.5Gb/s en utilisant le gestionnaire de réseau HUAWEI :

T2000-LCT

##### 4.1. Description de T2000 :

HUAWEI propose un système de gestion puissant **OptiX iManager T2000** pour la gestion des équipements. C'est un système intégré de gestion de réseau pour les réseaux de transmissions (SDH, WDM, RTN (FH), système de câble Ethernet, ATM, ASON), et aussi les réseaux de données (commutateurs, routeurs, etc.) et réseaux d'accès (DSLAM, etc.). C'est un système de haute sécurité, il est commode pour l'installation automatique et la mise à niveau du client, avec une haute force du système.

Ce système assure la configuration des éléments du réseau, gère les alarmes, et les performances, et les communications entre les éléments, fournit plusieurs outils de sauvegarde et de restauration des données, pour assurer la sécurité des données réseau.

##### 4.2. Description de LCT :

Le LCT de HUAWEI a des fonctions de gestion abondante à la couche NE :

➤ **Gestion de NE :**

- Recherche des NEs.
- Ajout/Suppression de NEs.
- Connexion ou de déconnexion des NEs.

➤ **Gestion d'alarme :**

- Définition des stratégies de surveillance d'alarme.
- Ajout/suppression de NEs.
- Connexion ou déconnexion des NEs.
- Voir des alarmes.
- Suppression des alarmes.

➤ **Gestion des Performances :**

- Définition des stratégies de suivi de performances.
- Voir les performances des événements.
- Remise à zéro des registres de performances.

- **Gestion de Configuration :**
  - Configuration des informations de base du NE.
  - Configuration des liens Radio.
  - Configuration de Protection.
  - Configuration d'Interface.
  - Configuration de Service.
  - Configuration d'Horloge.
- **Gestion de Communication :**
  - Gestion de paramètres et de Communication.
  - Gestion de DCC.
  - Gestion de Protocole IP.
  - Gestion de protocole OSI.
- **Gestion de Sécurité :**
  - Gestion d'utilisateur NE.
  - Gestion de groupe d'utilisateur NE.
  - Control d'accès LCT.
  - Gestion d'utilisateur en ligne.
  - Paramètre de sécurité NE.
  - Journal de sécurité NE.
  - Gestion d'utilisateur NMS.
  - Gestion des logs NMS.

## **5. Etapes de la configuration :**

### **5.1. Lancer T2000 :**

Ouvrir le serveur (équipement à configurer), puis l'authentifier. Réduire la fenêtre du serveur et lancer le client (logiciel), de même le client va être soumis à une authentification



Figure.58.Lancer le serveur

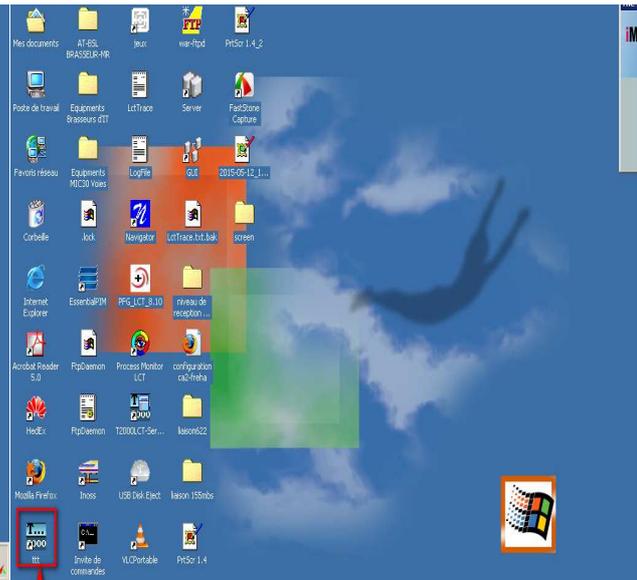


Figure.59.Lance le client

Une petite fenêtre apparait dont le mot de passe est **admin**, et le mot de passe est **T2000**.

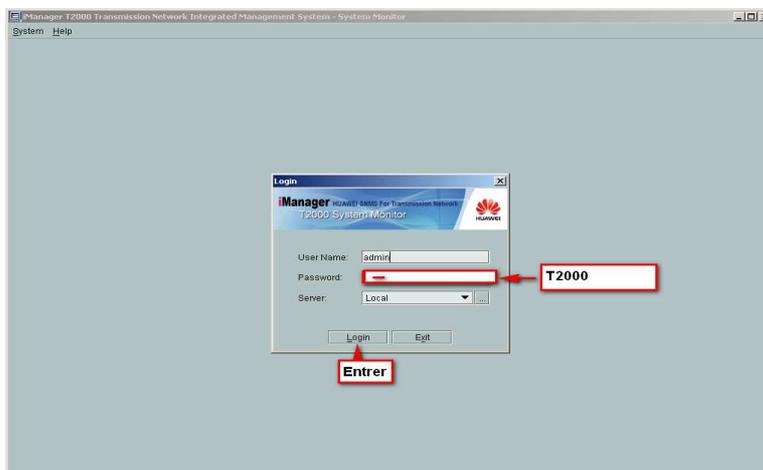


Figure.60.Authentification du client/serveur

## 5.2.Recherche NEs :

Dans ce dernier on clique avec le bouton droit sur **File**, puis sur **Search for NE**, et cela est dans le but de rechercher tous les éléments connectés au réseau.

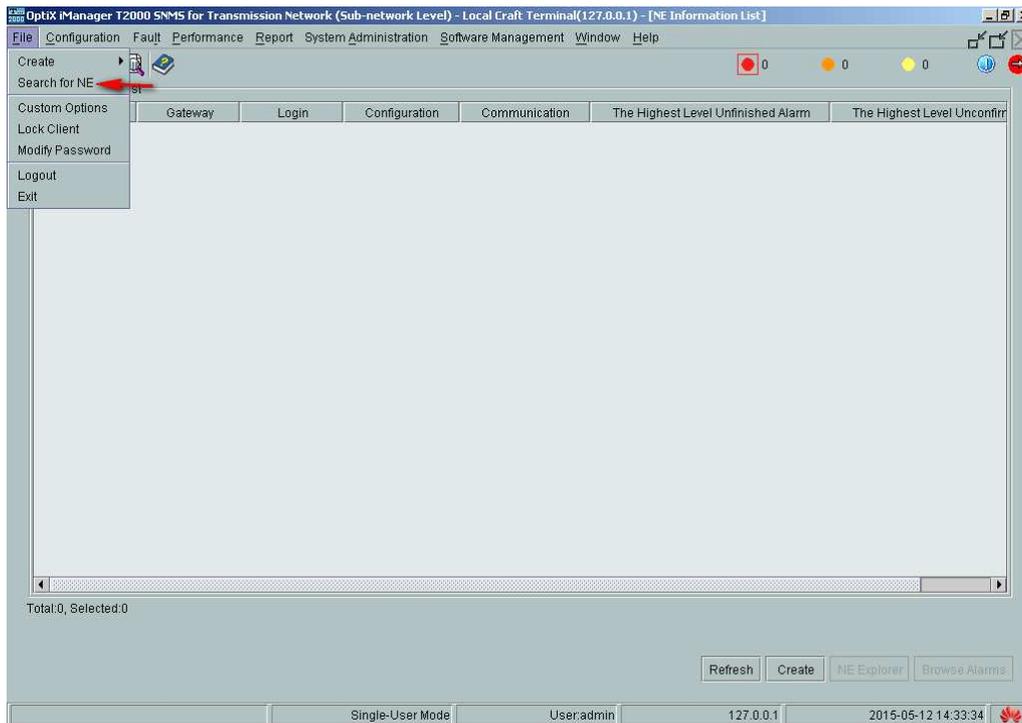


Figure .61.Recherche des éléments connectés au réseau

### 5.3. Paramétrage des NEs :

Pour voir les paramètres d'un NE on passe a NE attribute

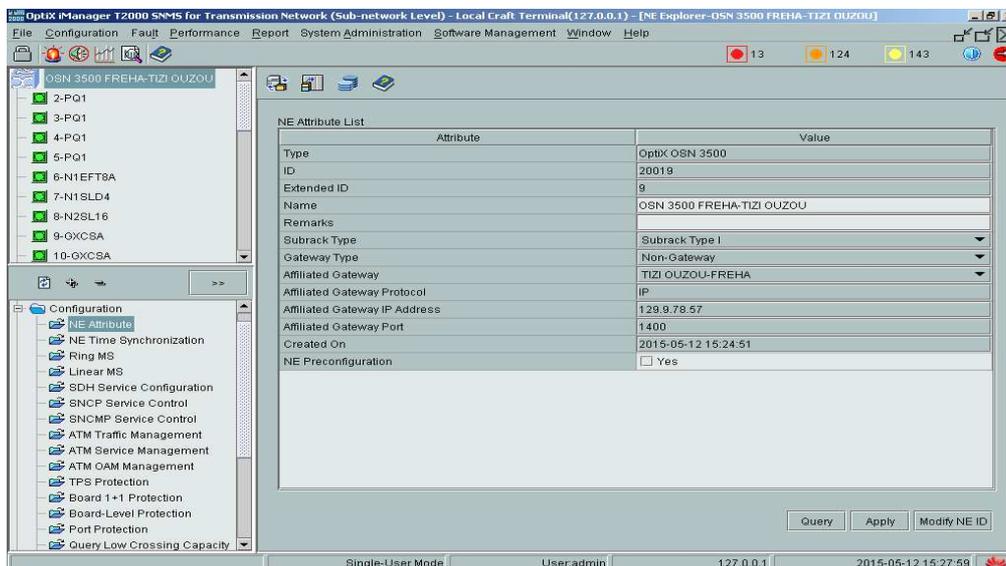
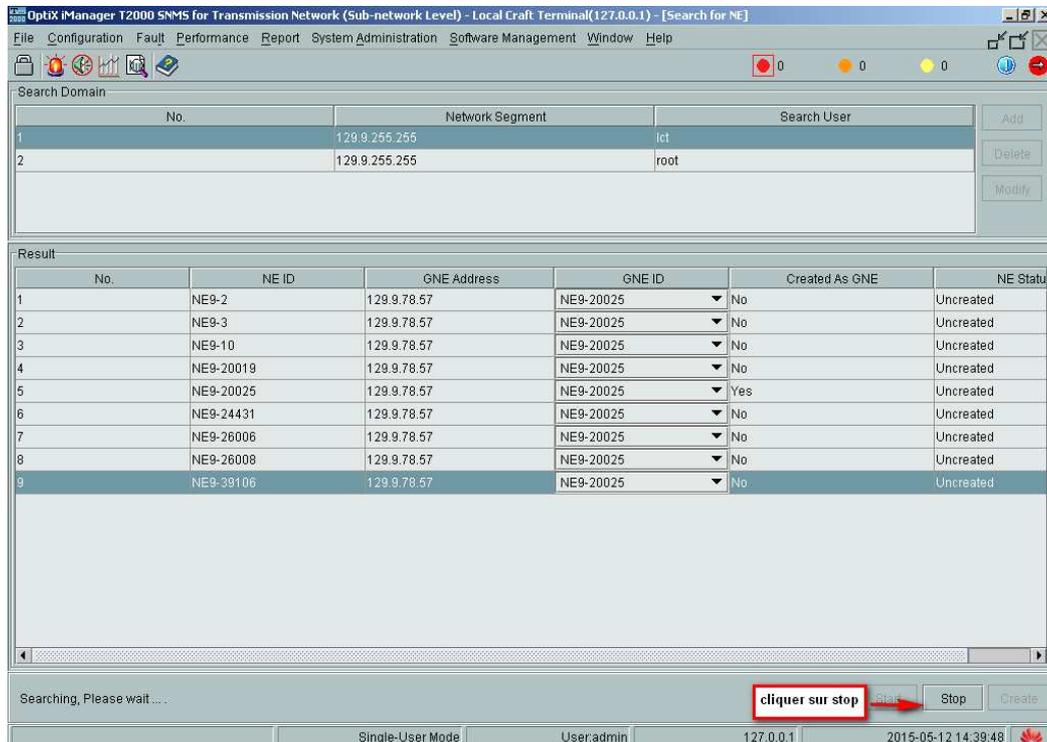


Figure.62.Paramètres d'un NE

#### 5.4. Création des NEs :

Une fois que tous les éléments connectés sont apparus, on clique sur stop pour arrêter l'opération précédente. Tout cela se traduit dans la fenêtre suivante



**Figure.63.Apparition des NE et fin de la recherche**

⇒ Visualisation des équipements connectés (FREHA, AGHRIB,AIT-ARHOUNA,TIGZIRT,AZEFFOUN).Une Gateway est identifiée : FREHA (NE9).

L'étape suivante consiste à créer chaque élément (créer le chemin de routage pour pouvoir accéder aux éléments), et cela se fait en cliquant sur le bouton droit sur l'élément et choisir **Create**, cela se fait pour chaque élément :

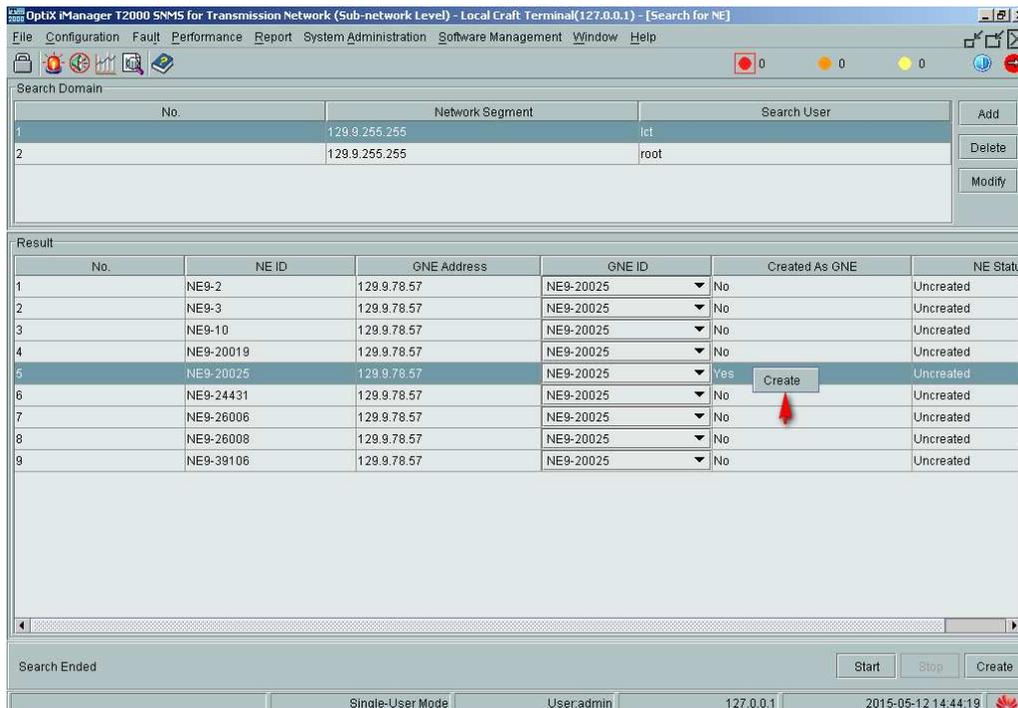


Figure.64.Création des éléments

En cliquant sur **Create** une nouvelle fenêtre apparaît :

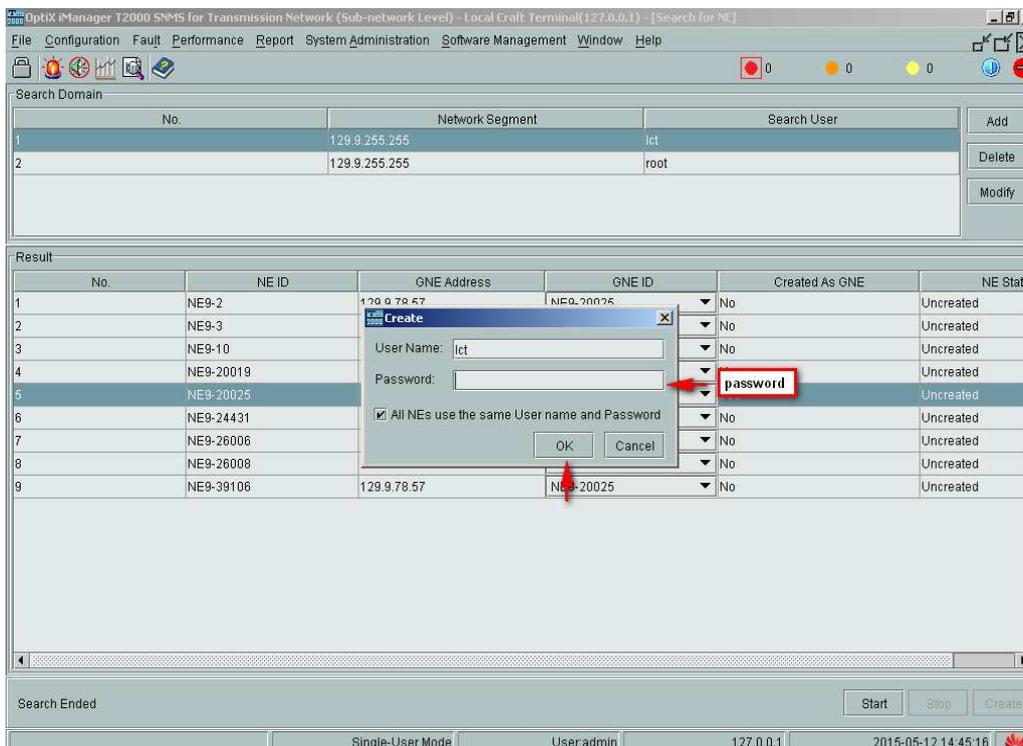


Figure.65.Ouverture du LCT lors de la création des NEs

L'User Name est **lct**, et le Password est **password**.

Parfois on ne peut pas accéder aux éléments avec « **lct** », donc on se retourne a l'ancienne version « **root** », car les anciens équipements ont été créés avec ce dernier.

### 5.5. Configuration des NEs :

Après création des éléments, on réduit la fenêtre afin de passer la configuration de chaque éléments, en cliquant sur le bouton droit puis « **configuration** » comme le montre la fenêtre suivante :

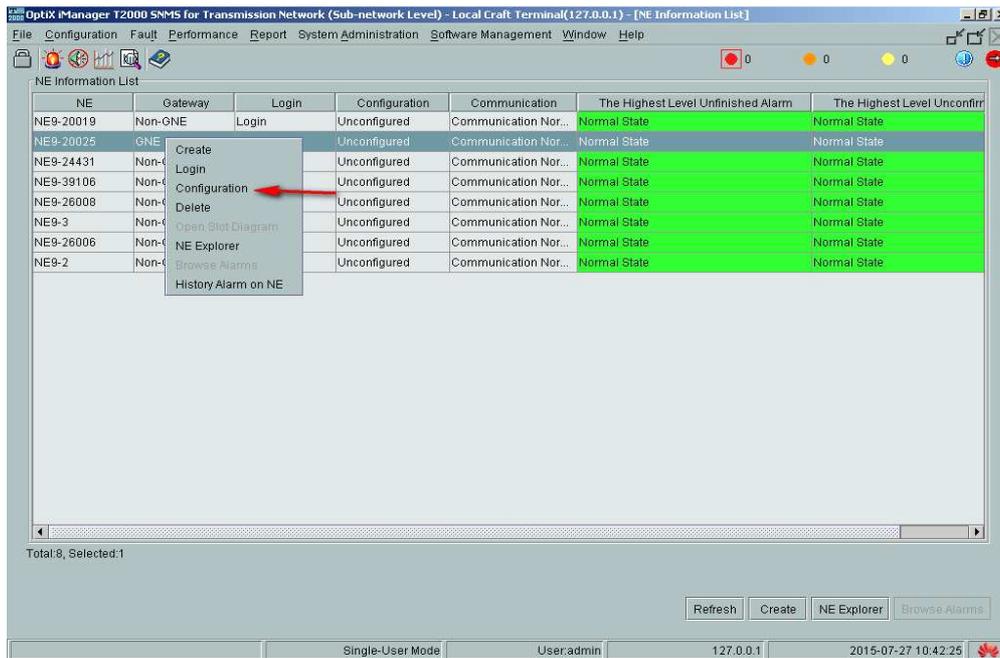


Figure.66. Configuration des NEs créés

### 5.6. Attribution des cartes :

Après configuration de tous les éléments réseaux, on clique dessus sur le bouton droit toujours, et on obtient une nouvelle fenêtre qui s'ouvre, pour les charger :

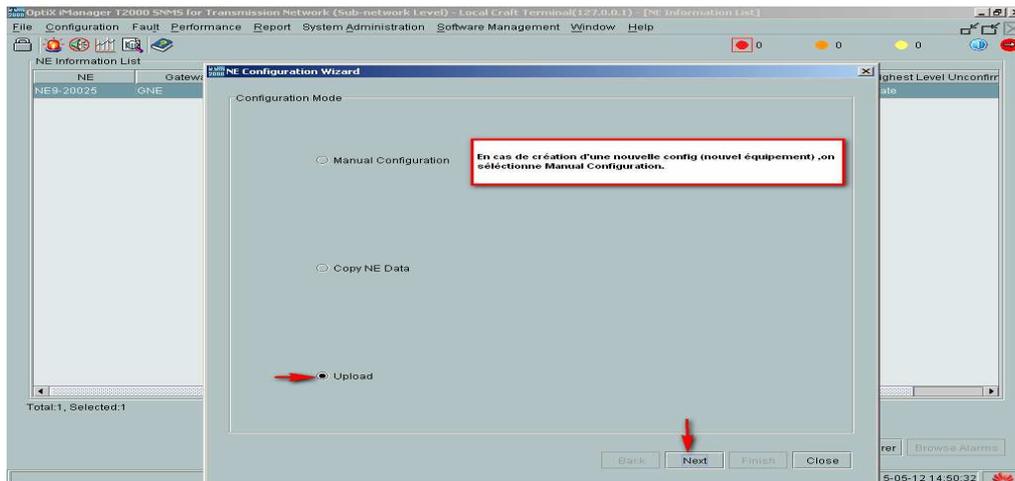


Figure.67.Chargement des configurations pour configurer les cartes

On sélectionne :

- ✓ **Manual Configuration** : configuration d'une nouvelle liaison.
- ✓ **Copy NE Data** : il s'agit de copier une configuration existante.
- ✓ **Upload** : il s'agit de charger la configuration existante.

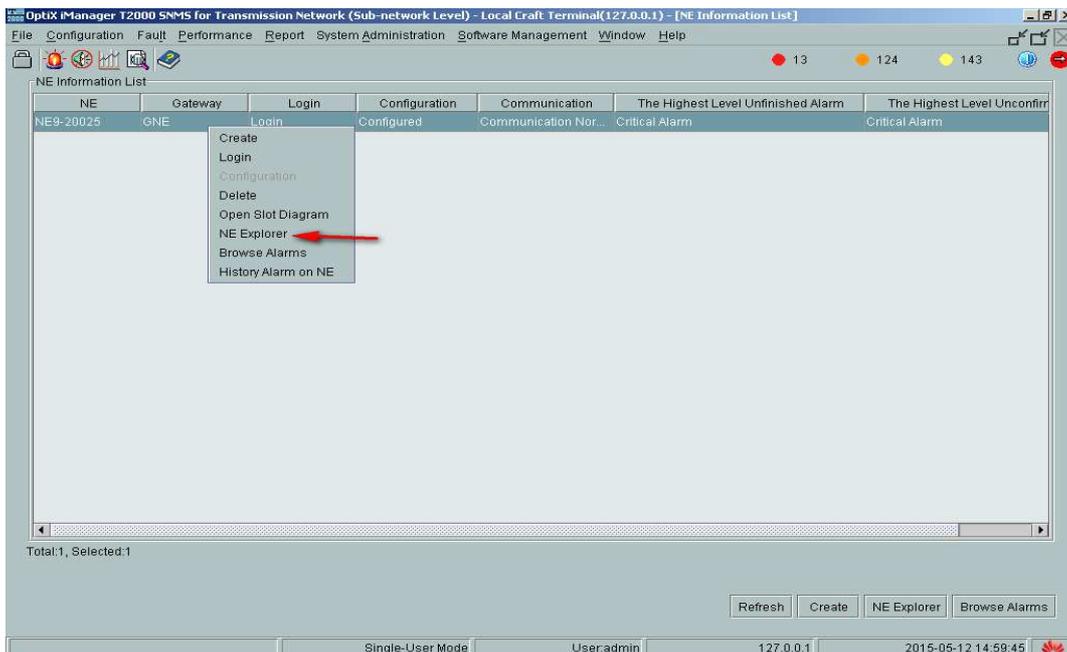
Puisque notre équipement a déjà été configuré, on utilise « **Upload** » pour charger les configurations existantes

❖ **Remarque :**

Pour accéder à tout les éléments connectés au réseau, il faudra les charger un par un.

Après que tout les NE soient connectés au réseau, on choisit un élément pour l'explorer (c'est-à-dire faire des manipulations réelles).

### 5.7. Création d'un nouveau service :



**Figure.68.Création d'un nouveau service**

On réduit d'abord la fenêtre de chargement, puis on clique sur le bouton droit et on choisit NE explorer pour configurer un nouveau service, et voir ses étapes de configuration :

On sélectionne **configuration**, puis **SDH service configuration** pour afficher tout les paramètres de la configuration :

- ✓ Pour créer un nouveau service SDH (trafic), on clique sur **Create**, et on obtient une nouvelle fenêtre qui s'ouvre et qui guide la configuration :

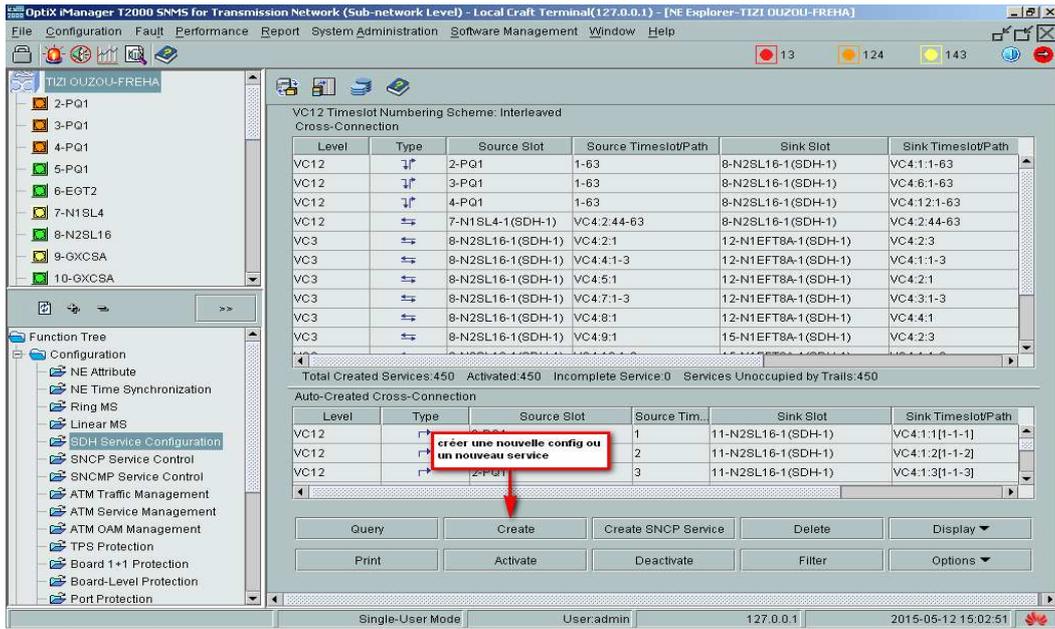


Figure .69.Création du nouveau service SDH

Et on obtient une nouvelle fenêtre qui s'ouvre et qui guide la configuration représenté ci-dessous :

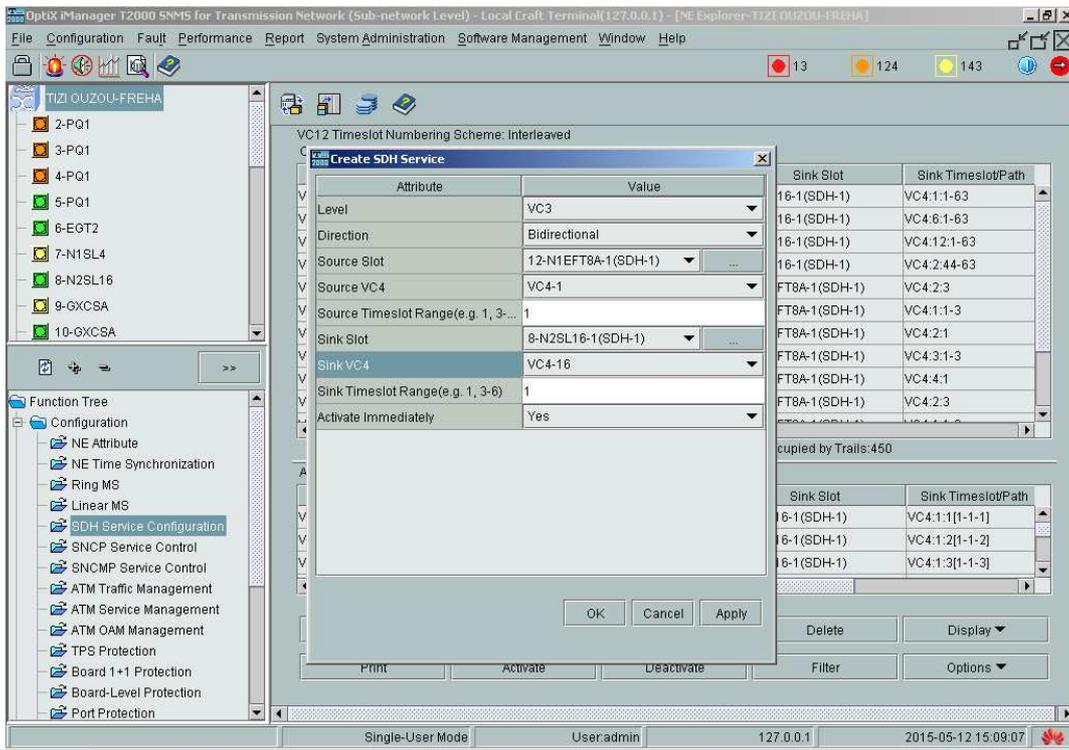
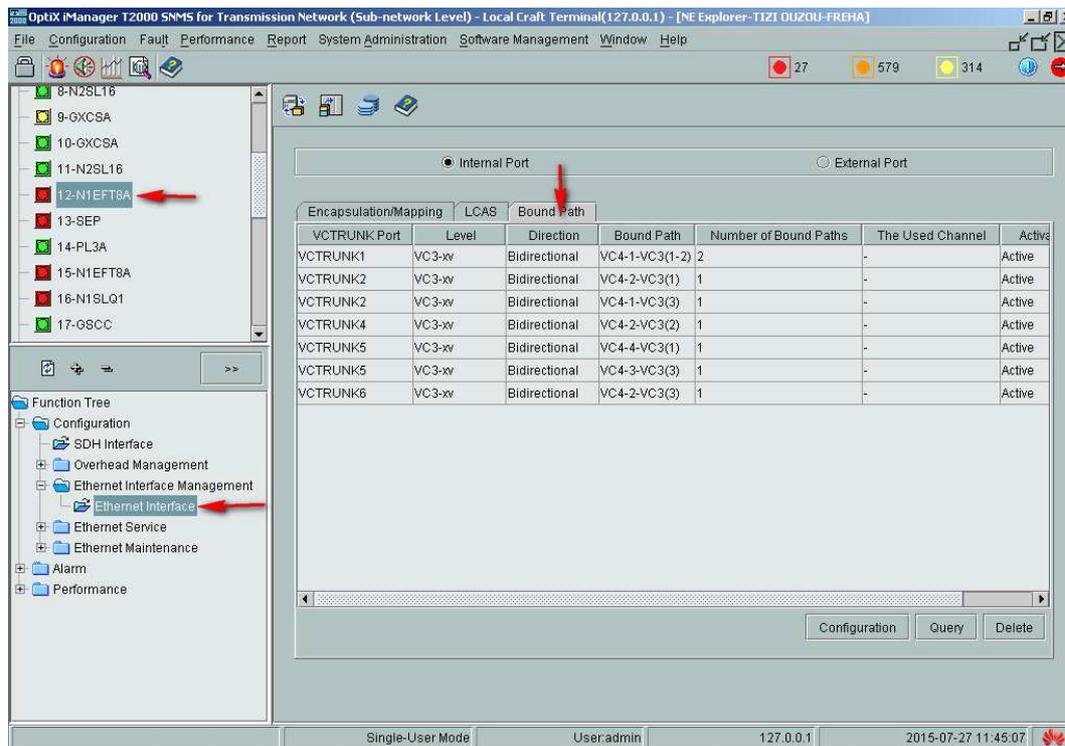


Figure.70.Création du service SDH en VC3

On envoie un niveau VC 3, dont la configuration se fait sur les cartes FE (Fast Ethernet), ces cartes FE supportent 4 STM-1 c'est-à-dire de VC4-1 a VC4-4.

On a 16 STM : de 1 à 16, on épuise le niveau 1.

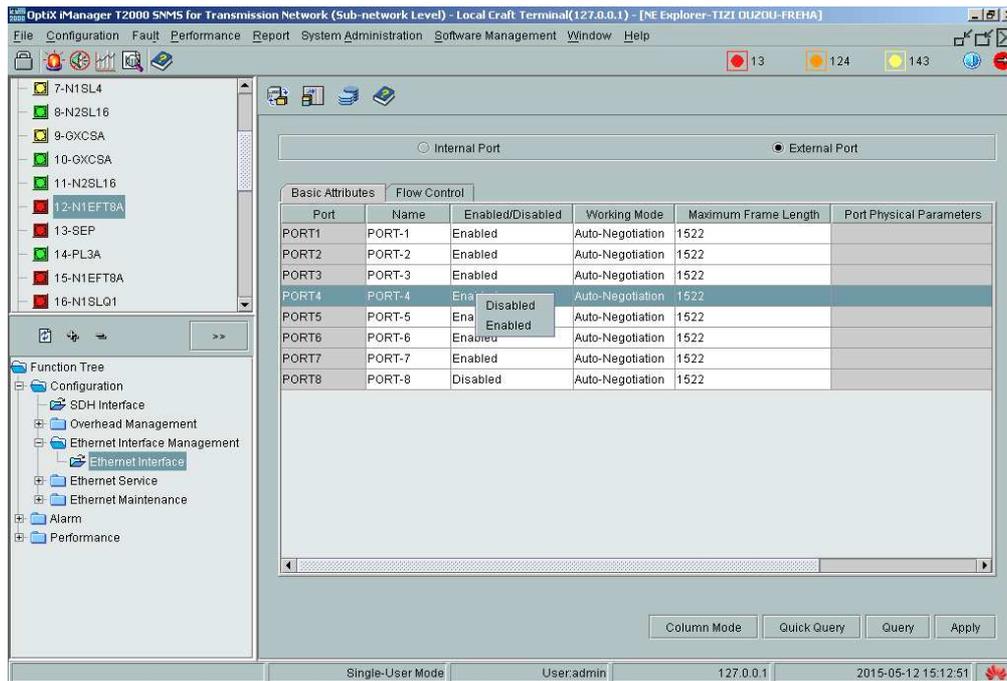
Pour une configuration **FE**, on doit configurer deux parties : une SDH et l'autre Ethernet. La partie SDH est celle présentée précédemment par contre la partie Ethernet D'abord on choisit la carte Ethernet : on aura l'arbre de fonctions, on sélectionne **Ethernet interface management**, puis **Ethernet interface**, une fenêtre s'ouvre.



**Figure.71.Création du service Ethernet**

On sélectionne l'**internal port** c'est-à-dire le port interne, puis on passe a la bande passante, puis configuration.

On reviens a l'**external port** pour activer les port extérieurs ou ports physiques comme le montre la figure suivante :



**Figure.72.Activation du port extérieur (physique)**

L'activation du port se fait en double cliquant sur le port qu'on veut utiliser.

Pour voir le niveau du signal lors de la transmission, il suffit de choisir le type d'une carte par exemple la carte 8-NS2 SL16, on a apparition de l'arbre de fonctions :**configuration** puis **Optical Power Management** ,puis sélectionner **Query** et enfin on obtient le niveau du signal

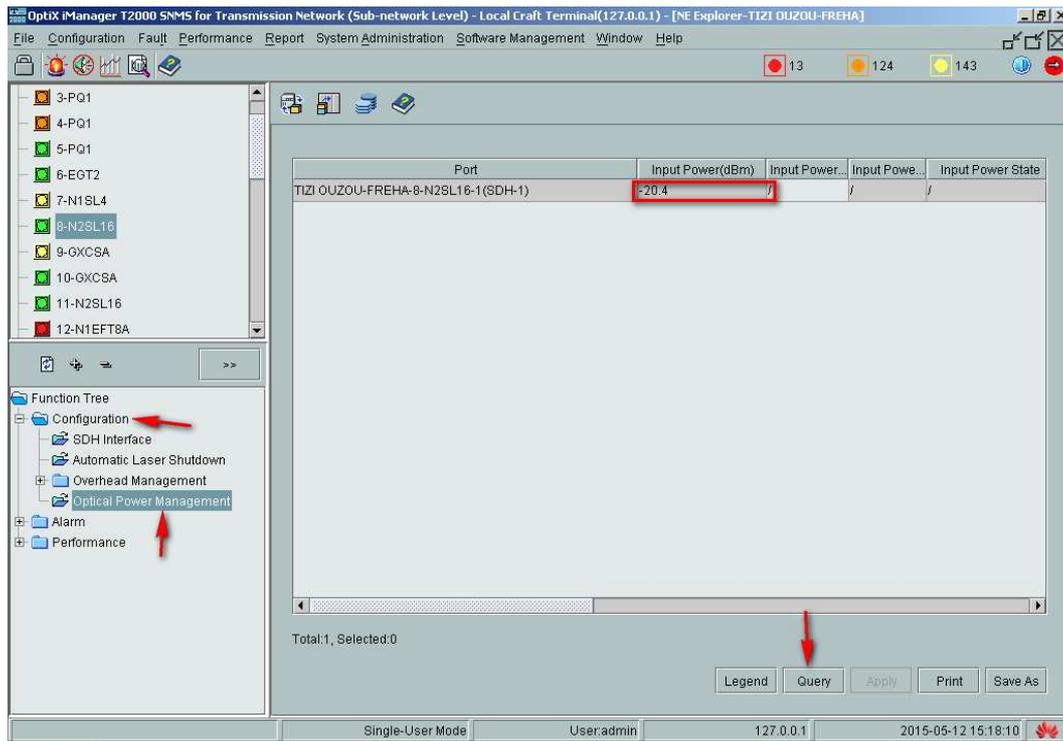


Figure.73. Tester le niveau du signal

Exemple :



Si le signal reçu dépasse -20.4 dB y'aura coupure de service.

## 5.8. Représentation du châssis :

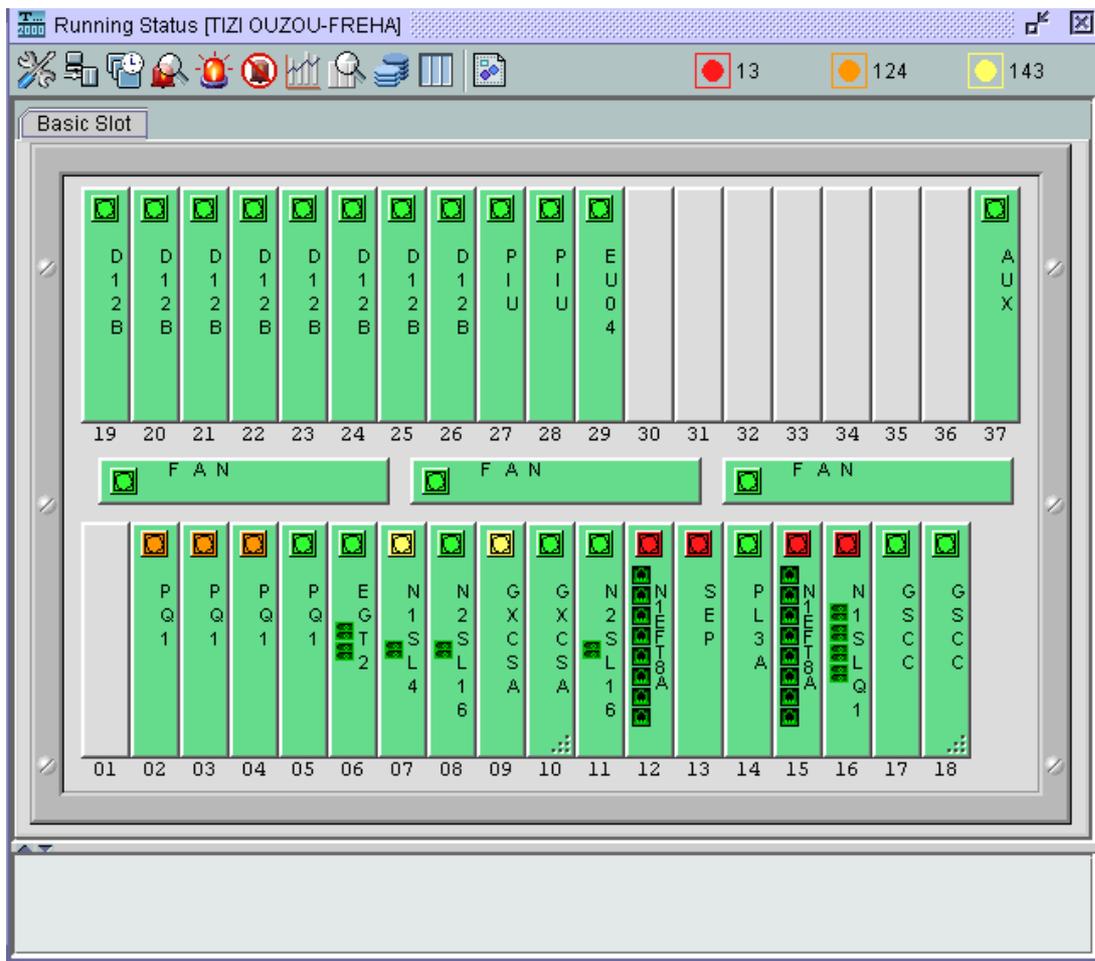
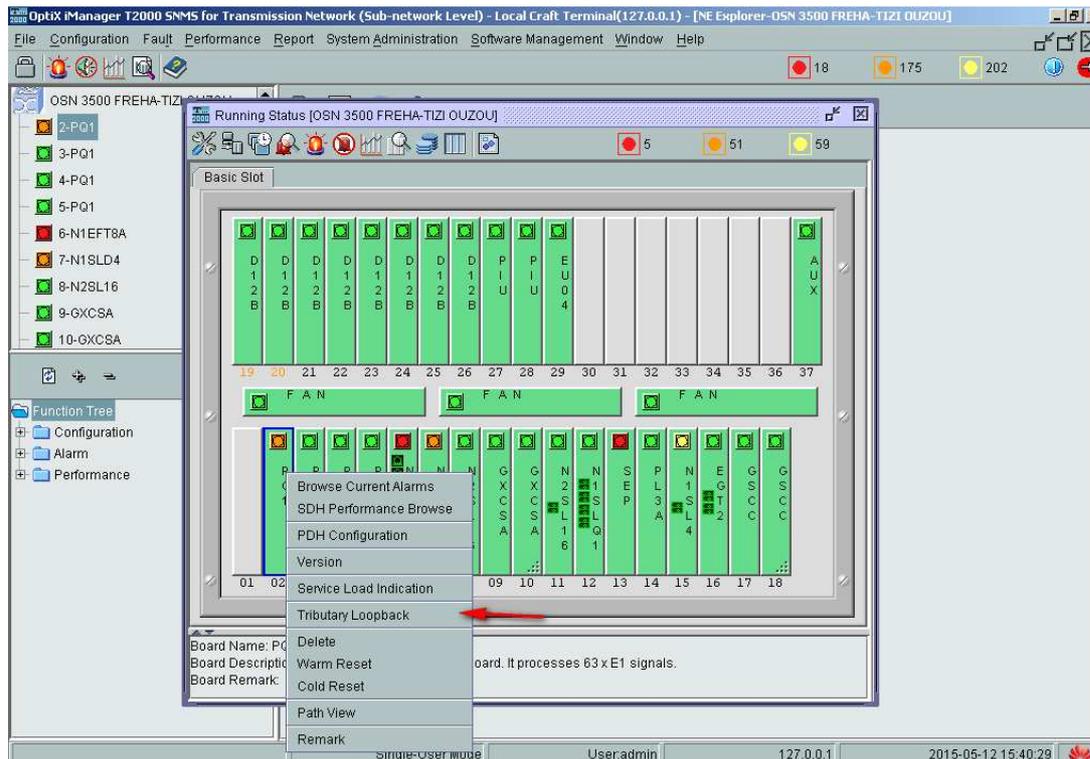


Figure.74.Vu de face des cartes de l'équipement

Cet équipement contient les cartes suivantes :

- ✓ **PQ** : 4×STM-1 : elle contient 63 intervalles de temps de 1 a 63.
- ✓ **SL16** : cartes de lignes (2.5Gb/s).
- ✓ **EFT8** : cartes Fast Ethernet a 8ports.
- ✓ **GXCSA** : carte de programme (carte mère).
- ✓ **GSCC** : carte de contrôle de communication
- ✓ **EGT2** : carte 2×Géga Ethernet
- ✓ **SL4** : carte de ligne (622 Mb/s)
- ✓ **11-SL16** : carte de ligne à 16×STM1 (normal)
- ✓ **8-SL16** : carte de ligne à 16×STM1 (secours)
- ✓ **SEP** : carte 34 Electrique
- ✓ **PL3A** : 3×SEP

- ✓ **SLQ1** : carte de ligne (4 ports STM1)
- ✓ **D12B** : cartes interfaces lignes (carte physique)
- ✓ **PIU** : carte d'alimentation
- ✓ **EU04** : carte d'interface ligne : 4×STM-1(sera accompagné d'une carte programme **SPQ4**)
- ✓ **AUX** : unités auxiliaires
- ✓ **FAN** : ventilateurs



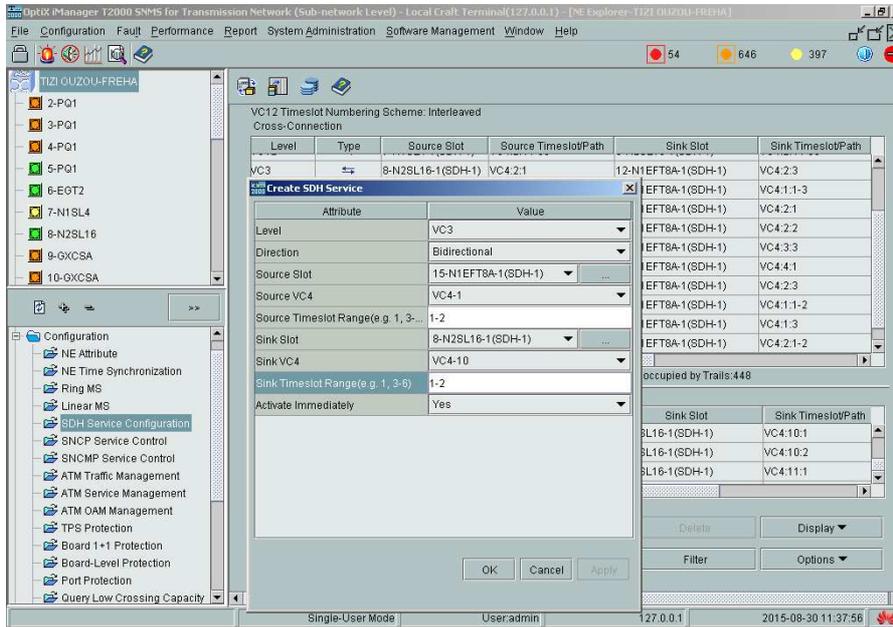
**Figure.75.Bouclage d'affluent**

Le but de cette simulation est de configurer la liaison TIZI-OUZOU et FREHA et présenter tous ses arriérés (AGHRIB, AIT-AROUNA, TIGZIRT, AZEFFOUN), dans ce cas on s'appuie sur le logiciel T2000 LCT dont les étapes de configurations ont été détaillés.

Pour mieux comprendre cette simulation On la configuration réelle suivante des sites TIZI-OUZOU, FREHA, et TIGZIRT :

On va créer un service SDH au niveau de TIZI-OUZOU, qui va être envoyé a FREHA en SDH toujours, puis le renvoyer a TIGZIRT, les deux sites d'extrémités vont être configurés de manière SDH et ETHERNET par contre celui de FREHA de type SDH

uniquement c'est un site passe trou( cross-connect) il renvoi les SDH en soft tous cela va se traduire comme suit :



**Figure.76.Création d'un service SDH en VC3 a TIZI-OUZOU**

D'abord on doit créer un service SDH en 2×VC-3 ( c'est-à-dire on envoie un trafic de 100Mega),on charge ce trafic sur le 15eme slot de la carte FE en (SDH) de source VC4-1 ( cela veut dire le premier VC4 sachant que y'a 4VC4 et caque VC4 représente 3×VC3),en direction bidirectionnelle vers une destination de 8eme slot de la carte SL16 (en SDH ) mais vers le 10eme VC4, puis on passe a la configuration du premier port FE c'est dire la configuration ETHERNET( la carte Ethernet dispose de 8ports FE et supporte 4\*STM-1 VC4-1 à VC4-4, utilisent 6 ports en VC3), On charge les deux VC3 (1-2) dans le premier port.

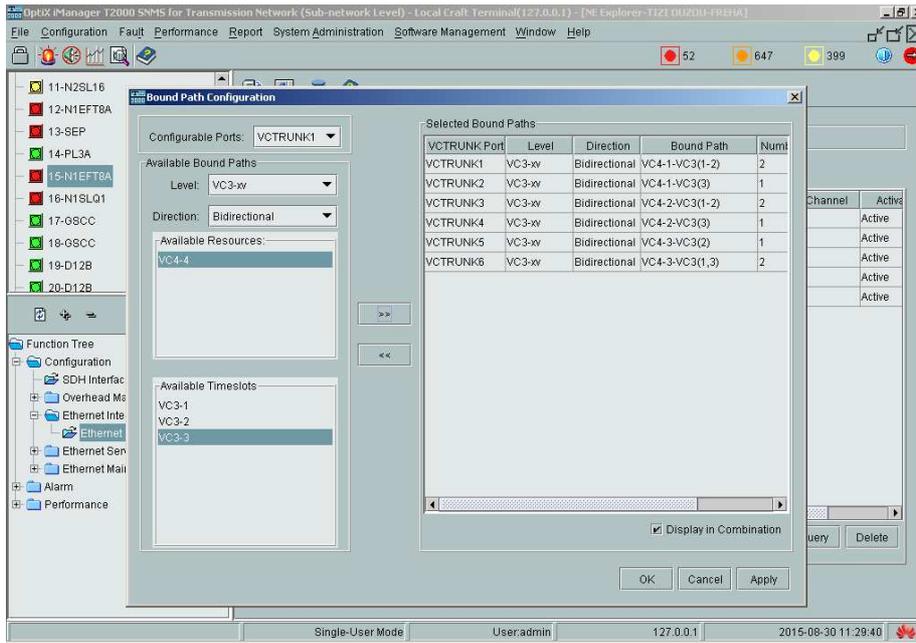


Figure.77. Configuration du port FE 1 a TIZI-OUZOU

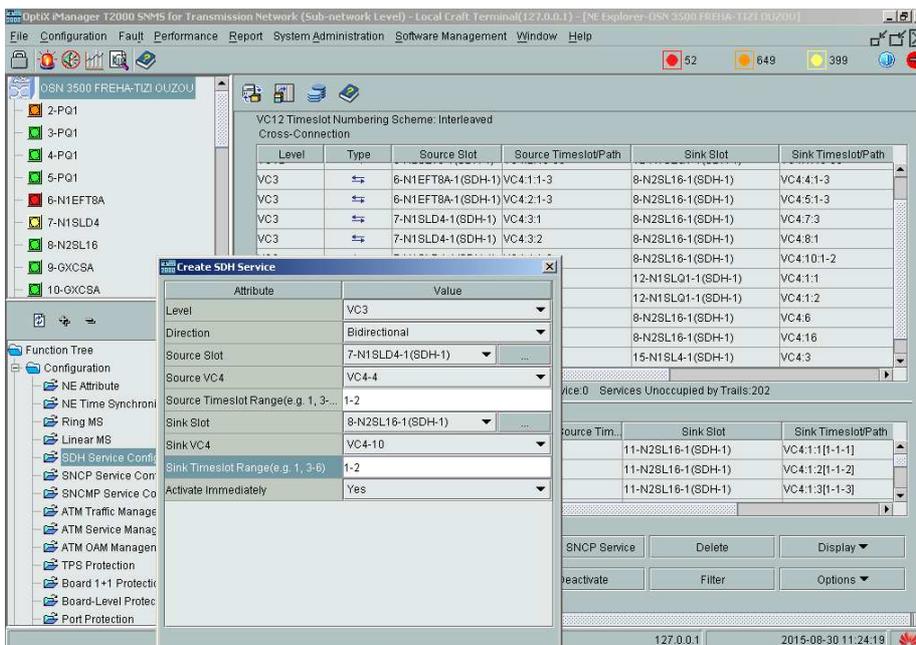


Figure.78. Création du service SDH a FREHA

Puis on se met sur le site FREHA dans le but de créer un service SDH transmit en  $2 \times VC3$  (100Méga), du 7eme slot de la carte SLD-4 ( $2 \times STM-4$  (622)), de source VC4-4 (on prend le 1et le 2), vers le 8eme slot de la carte SL16 (2.5Gb /S), Du 10eme VC4 (on prend le 1et le 2), **apply** pour l'appliquer, la carte  $2 \times 622Mb/s$  contient 2 ports SDH :SDH-1et SDH-2.

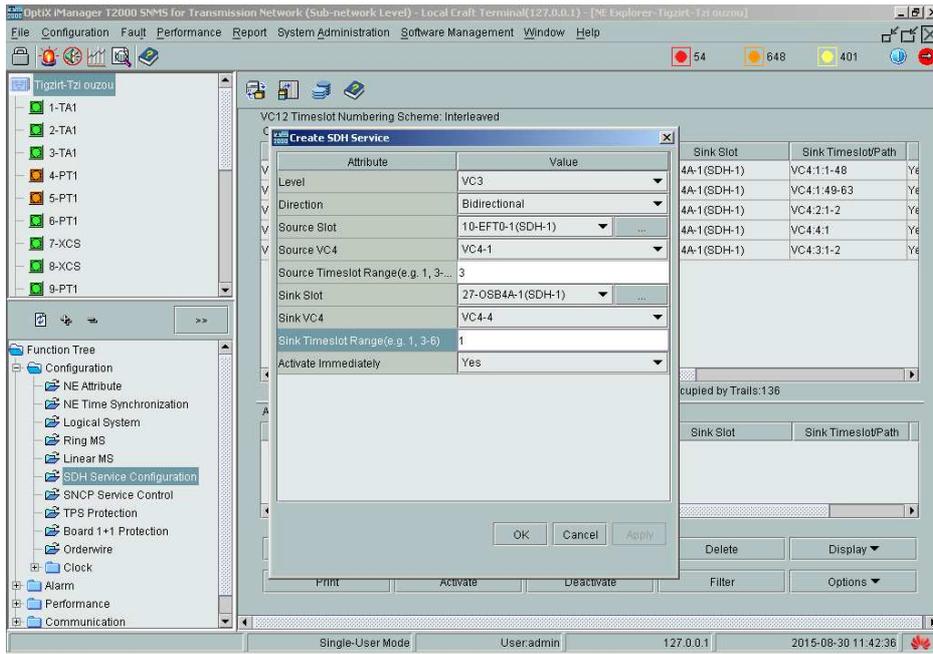


Figure.79.Création du service SDH a TIGZIRT

De même on doit créer le service SDH au niveau de TIGZIRT, sur ce site on est amené à faire deux types de configuration, commençons par la partie SDH :

On envoie notre trafic en 2×VC3 du 10eme slots de la carte FE(en SDH bien sur ,on prend le 3eme port) vers la carte de lignes (27-OSB4A-1)en SDH,de VC 4-4 (on prend le premier VC4-4).Pour le 2eme VC3

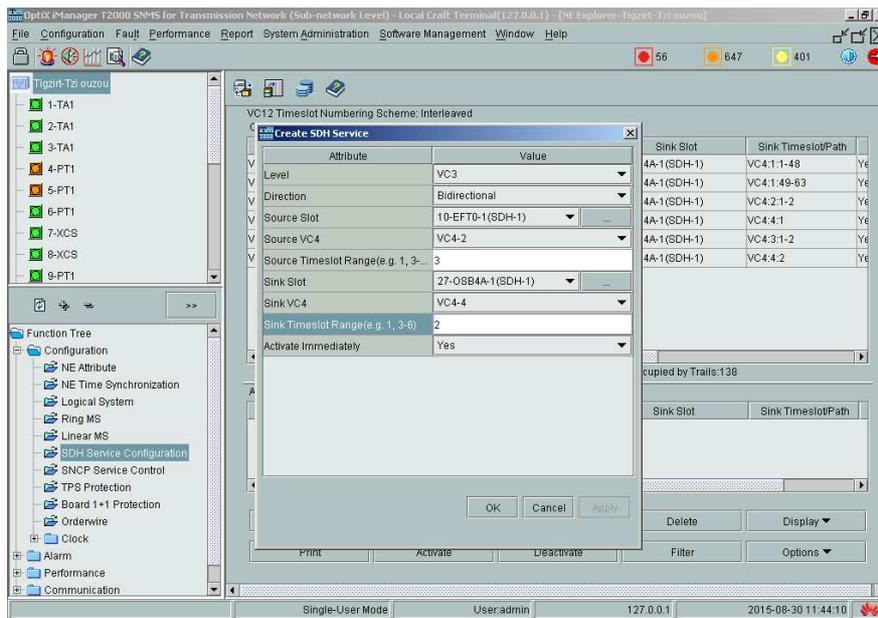
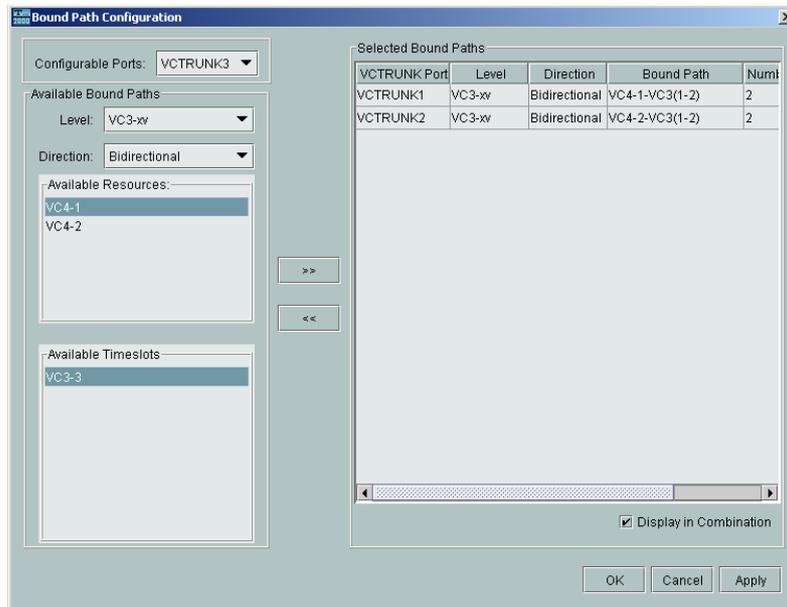


Figure.80.Création du 2eme VC3 a TIGZIRT

On crée ce service en VC3, du 10eme slot de la carte FE, de source de VC4-2, et du port 3, vers la carte de ligne SDH en VC4-4.

- ✓ Cette sortie FE va être configurée

Une fois qu'on a configuré la partie SDH, on passe à la partie ETHERNET :



**Figure.81. Configuration Ethernet a TIGZIRT**

On doit configurer le port 3 (VC Trunk 3), on le charge en VC3, et on remarque qu'on obtient 2 ressources de VC4 possibles :

- VC4-1 : VC3-3 ET
- VC4-2 : VC3-3

On charge ces 2 VC3-3 pour obtenir les 100M à TIGZIRT

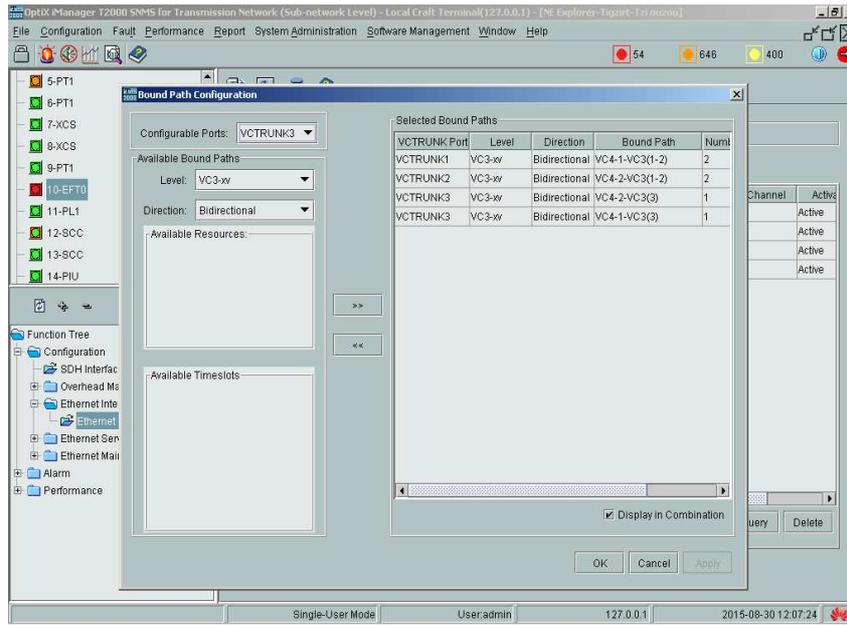


Figure.82.Chargement du 3eme port FE avec les 100Mb/s

Les 100Mega sont chargés.

5.9. Résultats de la configuration :

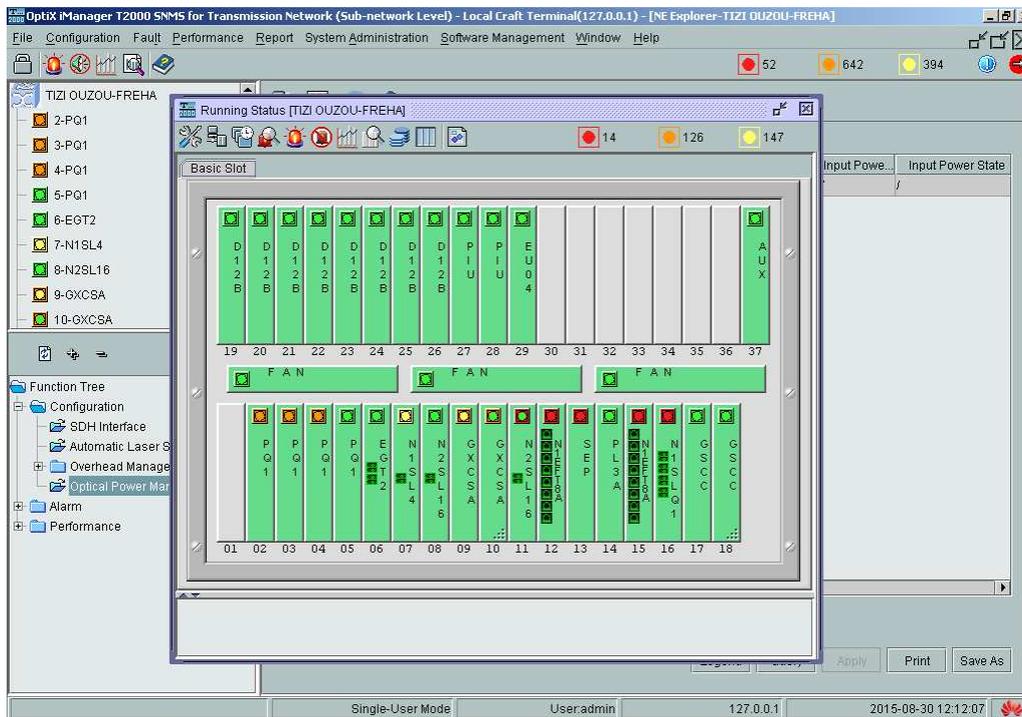


Figure.83.Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de TIZI-OUZOU

7-N1SLD4-1 (SDH-1) VC : 4 :4 :1-2

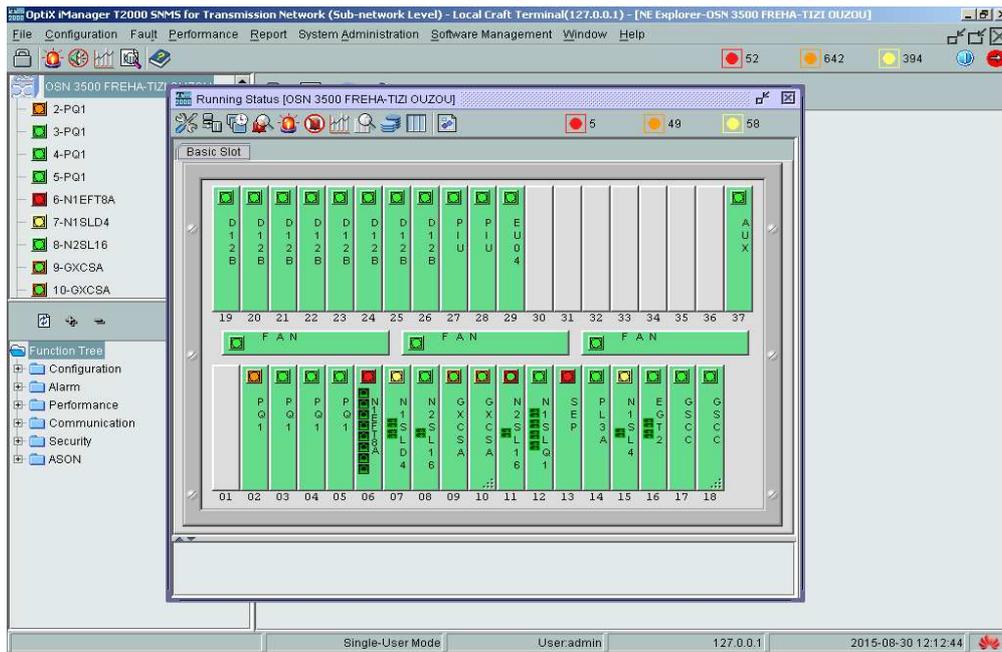


Figure.84. Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de FREHA

8-N2SL16 (SDH-1) VC4 :1O 1-2

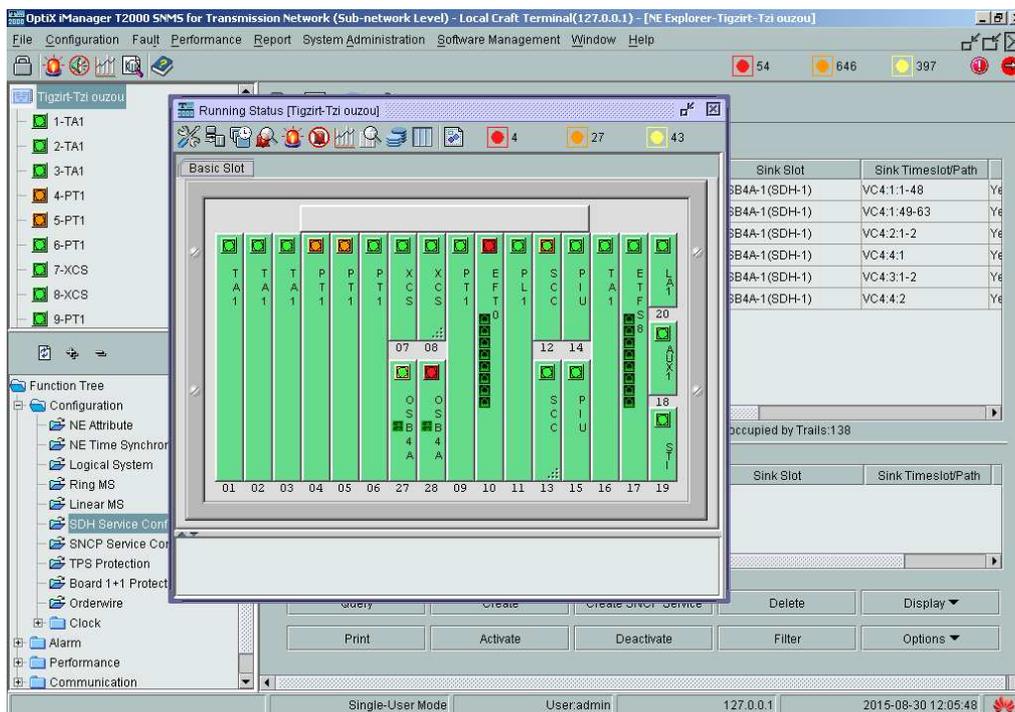


Figure.85. Vue de face des cartes de l'équipement au niveau de TIGZIRT

VC3-xv VC4-2-VC3 (3)1 (10 EFT)

VC4:4:2/ VC4:4:1

**6. Conclusion :**

Ce chapitre résume la partie pratique de ce travail, et qui présente la conception d'une liaison SDH 2.5 Gb/s point à point. Ce réseau repose sur une Platform OSN 3500de HUAWEI, qui permet à ALGERIE TELECOM de véhiculer des services voix , vers des services de type données destinées aux clients.

# CONCLUSION GÉNÉRALE

---

L'évolution des communications optiques a permis aux réseaux de télécommunications d'atteindre un niveau de performances extraordinaires et a ouvert les portes devant l'apparition de nouvelles disciplines qui visent l'amélioration de l'existant et la création de nouveaux dispositifs pour la transmission et le traitement du signal optique.

Après étude, ce projet s'appuie sur une conception d'une liaison SDH 2,5 Gb/s d'ALGERIE TELECOM, et qui repose sur un équipement (OPTIX OSN 3500) de HUAWEI. Pour ce faire cette étude s'est basée sur l'architecture et la topologie de la liaison soumise sous le simulateur T2000, dans le but de la création des services et la protection, la configuration de l'équipement afin de transiter les trafics en toute sécurité et satisfaire la demande de la clientèle.

Le choix de l'infrastructure SDH, répond encore aux besoins des clients en bande passante, sur des parties des réseaux et de faire migrer d'autres parties pour lesquelles la demande était plus élevée, la SDH, étant une technique de multiplexage, permet d'associer des débits incidents pour former un débit supérieur, plus facile à transmettre et à gérer dans un réseau de transmission. Elle a été mise en place afin d'unifier les réseaux sur le plan national et international, son association dans les réseaux de télécom, aura un impact considérable sur tous les aspects des services offerts à la clientèle.

Enfin les réseaux SDH des opérateurs utilisent couramment les débits de 2.5 Gb/s et 10 Gb/s. Cependant les limitations des lasers et la disponibilité de fibre optique font que l'augmentation des débits dans cette technologie n'est pas envisageable, d'où l'apparition de la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) et son évolution vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) qui fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes qui est basée sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes, cela a marqué l'univers des réseaux hauts débits aussi bien au niveau des débits qu'au niveau des équipements.

- [1] :Jean-Pierre ARNAUD, Réseaux et Télécoms, Edition Dunod, 2003
- [2] :HAMITOUCHE Yacine : Réseau et routage optique WDM, Mémoire de fin d'études (ingénieur),UMMTO,2011
- [3] :Guillaume Desgeorge, les réseaux hauts débits,Novembre 1999
- [4] : Arezki HAMITOUCHE et Hassina LAHLOUH, Multiplexage SDH et dimensionnement des réseaux DWDM, Mémoire de fin d'études (ingénieur)UMMTO,2010
- [5] :FRANCK MENIN, Ecole supérieur des télécommunications de BRETAGNE
- [6]:<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/electronique-automatique-th13/telecommunications>
- [7] : Aoun André, Réseaux informatiques, Université Paul Sabatier-Toulouse III,2005
- [8] : Documentation d'Algérie Telecom « Le modèle OSI »
- [9]:Karim El Khazen ,Architecture ATM, Rt ENSEA,1999
- [10] :C. Pham,Les réseaux multiservices et Les réseaux ATM,Université Lyon
- [11] :MedjdoubFadhila,Optimisation par la simulation système d'une chaine de transmission numérique par fibre optique haut débit, Université ABOU BEKR BELKAID-TLEMEN (magister),2010
- [12] :Institut National De La Poste Et Des Technologies de l'information et de communication, Transmission Sur Fibre Optique,2011
- [13] :Lecoy Pierre, Communication sur la fibre optique,Ed. Lavoisier-Hermès, 2014
- [14] :Bounkhala Mostefa, Transmission des données par voie optique,Mémoire de fin d'études (ingénieur),2008
- [15] : Ivain Kesteloot,Stéphane Rzeteny et Eric Jullien , Nouvelle technologie réseaux SDH , Mémoire d'ingénieur professeur,école EISTI,2012-2013

[16] :O.BURN, Dimensionnement et routage optimal dans les anneaux hauts débits SDH,1999

[17] :ZTE Corporation, SDH productoperation and maintenance training, documentation Algérie Telecom,2013

[18] :Techno Dis, Hiérarchienumérique synchrone, documentation Algérie Telecom,2012

[19] :Bayer Gérard, les réseaux synchrones étendus PDH et SDH, Ed. Hermès ,1999

[20] :Synchronous Digital Hierarchy (SDH),Marconi, <http://www.iec.org>