



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études
Présenté en vue de l'obtention
du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Electronique

Option : Communication.

Thème:

**Etude et Application
de la transmission SDH via fibre optique.**

Proposé par :
M^r : K.IZRI

Dirigé par:
M^r: M.LAHDIR

Présenté par :
M^r: BOUBRIK NACER
M^r: CHAMEK SAID
M^{elle}: FERHANI SAMIA

Année universitaire 2008/2009

Soutenu le 02-07-2009

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur la transmission.	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Réseaux de télécommunications.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.2.2. Différents types de réseau de télécommunications.....	4
I.2.2.1. Le réseau téléphonique commuté (RTC).....	4
I.2.2.2. Les réseaux informatiques.....	4
I.2.2.2.1. Les types de réseaux informatiques.....	4
I.2.2.3. Le réseau RNIS.....	5
I.3. Systèmes de transmission.....	6
I.3.1. Transmission analogique.....	7
I.3.1.1. Fiabilité de la transmission analogique.....	7
I.3.2: Transmission numérique.....	8
I.3.2.1. Fiabilité de la transmission numérique.....	9
I.3.2.2. Avantages de la transmission numérique.....	9
I.3.3. Transmission numérique MIC ou (PCM).....	9
I.3.3.1. Principe de la modulation MIC.....	10
a. L'échantillonnage.....	10
b. La quantification.....	11
c. La compression.....	11
d. Le codage.....	12
d.1. Le codage Manchester.....	12
d.2. Le codage HDB ₃	13
I.3.3.2. Structure d'une trame MIC primaire (E1).....	14
I.3.3.3. Hiérarchie du MIC (Européen).....	17
I.4. La technique du multiplexage.....	17
I.4.1. Le multiplexage fréquentiel FDM.....	17
I.4.2. Le multiplexage temporel TDM.....	18
I.5. Les types de systèmes de transmission.....	19
I.5.1. Transmission asynchrone.....	19
I.5.2. Transmission synchrone.....	19
I.6. Supports de transmission.....	20
I.6.1. Modélisation d'une ligne de transmission.....	20
I.6.2. Modes d'exploitation d'un support de transmission.....	20
I.6.3. Les différents types du support de transmission.....	21
I.6.3.1. Les supports filaires.....	22
I.6.3.2. Support aérien.....	23
I.6.3.3. Les supports optiques.....	25
I.7. Conclusion.....	26
Chapitre II : Liaison de transmission par fibre optique.	
II.1. Introduction.....	27
II.2. Notions générales.....	27
II.2.1. Indice de réfraction (indice optique).....	27

II.2.2. Théorèmes optiques.....	27
II.3. Principe d'une liaison optique.....	28
II.3.1. La fibre optique.....	29
II.3.1.1. Types de la fibre optique.....	29
a. La fibre multimode.....	30
a.1. La fibre multimode à saut d'indice.....	30
a.2. La fibre multimode à gradient d'indice.....	30
b. La fibre monomode.....	31
II.3.1.2. Caractéristiques de la fibre optique.....	31
a. Ouverture numérique.....	31
b. Atténuation.....	32
c. Dispersion.....	34
c.1. Dispersion chromatique (intermodale).....	34
c.2. Dispersion modale (intermodale).....	34
d. Bande passante.....	35
II.3.1.3. Avantages et inconvénients des fibres optiques.....	36
II.3.2. Module d'émission.....	37
II.3.2.1. Conversion Electrique/Optique.....	38
II.3.2.1.1. Laser.....	38
a. Un milieu amplificateur.....	38
b. La contre réaction optique (cavité).....	39
II.3.2.1.2. La diode laser.....	40
a. Caractéristiques de la diode laser.....	41
II.3.2.1.3. Modulation.....	42
a. Modulation directe.....	42
b. Modulation externe.....	43
II.3.3. Module de réception.....	44
II.3.3.1. Conversion optique/électrique.....	44
II.3.3.1.1. Principe du photodétecteur.....	44
II.3.3.1.2. Les composants de réception.....	45
a. Les photodiodes PIN.....	45
b. Les photodiodes à avalanche APD.....	46
c. Caractéristiquement comparatifs des photodiodes PIN et PDA.....	47
II.3.4. Amplification optique.....	47
II.3.4.1. Les amplificateurs à fibre optique dopée à l'erbium (AFDE).....	47
II.3.4.2. Les amplificateurs à semi-conducteurs (AOSC).....	48
II.3.4.2.1. Les caractéristiques des Amplificateurs Optiques à Semi- Conducteur.....	49
II.3.5. Les filtres optiques.....	49
II.4. Conclusion.....	49
 Chapitre III : La hiérarchie SDH.	
III.1. Introduction.....	50
III.2. Comparaison entre la PDH et la SDH.....	50
III.3. Définition de la SDH.....	51
III.4. Principe de fonctionnement de la SDH.....	51
III.4.1. Constitution des trames SDH.....	51

III.4.2. Structure de la trame de base STM-1	52
a. RSOH (Régénération Section Over Head).....	53
b. MSOH (Multiplex Section Over Head).....	53
c. Le pointeur (PTR).....	54
d. POH (Path Over Heads).....	56
d.1. Le surdébit du conduit supérieur (VC-n).....	57
d.2. Le sur débit du conduit inférieur (VC-m).....	58
III.4.3. Multiplexage SDH.....	58
III.4.3.1. Les entités traitées par le réseau SDH.....	59
a. La notion de CONTENEUR (C-n).....	59
b. Conteneur Virtuel (VC-n).....	60
c. Tributary Unit (TU).....	61
d. L'unité Administrative AU (Administrative unit).....	61
e. Le Groupe d'Unité d'Affluent : TUG (Tributary Unit Group).....	61
f. Le Groupe d'Unité Administrative : AUG (Administrative unit Group).....	62
III.4.3.2. Formation de la trame de base (STM-1) à partir d'un E ₁	62
a. Constitution du conteneur C-12.....	62
b. Constitution du conteneur virtuel VC-12.....	63
c. Constitution de la tributary unit TU-12.....	63
d. Constitution la tributary unit group TUG-2.....	64
e. Constitution du conteneur virtuel VC-3 (7xTUG-2).....	64
f. L'unité administrative AU-3.....	65
g. Le groupe d'unité administrative AUG.....	65
h. La trame STM-1	66
III.4.3.3. Formation de la trame STM-n.....	66
III.5. Etude du réseau SDH.....	67
III.5.1. Les équipements du réseau SDH.....	67
III.5.1.1. Les multiplexeurs SDH.....	68
a. Multiplexeur d'Insertion/Extraction (MIE).....	68
b. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS).....	68
III.5.1.2. Les brasseurs (DXC ; Digital Cross-Connect).....	69
III.5.1.3. Les régénérateurs.....	69
III.5.2. Topologie des Réseaux SDH.....	70
a. Architecture en anneau monofibre.....	70
b. Architecture en anneau bidirectionnel.....	71
III.5.3. Protection du réseau SDH.....	71
III.5.3.1. La protection de la section.....	72
a. La protection MSP	72
b. Protection de la section de multiplexage partagée (MS-SPRING).....	73
III.5.3.2. La protection du conduit (SNCP).....	73
III.5.4. Synchronisation du réseau SDH.....	74
III.5.4.1. Indication de synchronisation.....	75
III.6. Conclusion.....	75

Chapitre IV : Application de la transmission SDH.

IV.1. Introduction.....	76
IV.2. Les différentes étapes de mis en service.....	76
IV.2.1. Pose de la fibre optique.....	76
IV.2.2. Configuration des équipements SDH.....	76
IV.2.2.1. Configuration d'un ADR 155C « SAGEM »; (CA-I/CA-II).....	77
a. Création d'une connexion entre le PC et l'équipement.....	77
b. Visualisation de l'équipement.....	78
c. Mise en service.....	79
d. Activation de la carte.....	79
e. Choisir le type de la carte.....	80
f. Crosse connexion.....	81
g. Créé une crosse connexion.....	82
h. Protection.....	83
i. Synchronisation.....	83
j. Refroidissement.....	84
k. Maintenance E-1 (2 Mbit/s).....	85
l. Maintenance STM-1 (155 Mbit/s).....	85
IV.2.2.2. Configuration d'un équipement 155Mbit/s OPTIX OSN 3500 « HUAWEI » (CA2/POLY-KRIM).....	86
a. Lancer le T2000 (serveur et client).....	86
b. Recherche de l'équipement.....	86
c. Configuration de l'équipement.....	87
IV.3. Teste des liaisons.....	92
IV.3.1. Liaisons optiques.....	92
a. Appareil Emission/Réception.....	92
a.1. Principe de la mesure.....	92
b. Le Réflectomètre.....	92
b.1. Principe de la mesure.....	93
a. Principe de la mesure.....	93
IV.3.2. Liaison électrique.....	93
Conclusion générale.....	94

Annexe

Glossaire

Bibliographie

De nos jours, les proliférations des systèmes de communications ont conduit à l'accentuation des recherches dans les domaines des transmissions. La maîtrise des systèmes de transmissions est devenue un élément clé dans le développement du monde moderne. Ainsi, les opérateurs ont sans cesse dû s'adapter à un trafic téléphonique toujours plus important. Cette croissance de la demande a été la source de nombreuses avancées technologiques permettant de répondre aux besoins de la manière la plus économique possible.

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

Cependant, la demande en bande passante n'a cessée de s'accroître, ce qui a conduit l'introduction de niveaux de multiplexage supplémentaires. Ainsi, la hiérarchie numérique plésiochrone PDH (Plésiochronous Digital Hierarchy) a vu naissance. Mais l'un des inconvénients de ce mode de transmission est l'absence de normalisation au niveau de l'UIT-T (C.C.I.T.T), ce qui rend très difficile l'interopérabilité des équipements entre deux hiérarchies différentes (U.S.A, EUROPE). De plus, le multiplexage bit à bit de la trame numérique plésiochrone ne permet pas l'accès aux niveaux inférieurs sans démultiplexage. Cette opération est très coûteuse car elle requière le démultiplexage puis le remultiplexage complet de toute la trame.

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

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

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

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

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

- Dans le premier nous avons présenté quelques généralités sur la technique de transmission;
- Ensuite, le deuxième chapitre est consacré à l'étude théorique d'une liaison de transmission par fibre optique ;
- Puis, le troisième chapitre est basée sur l'étude théorique et technique de la technologie SDH ;
- Et enfin, le dernier consiste à mettre en application les différentes étapes de la transmission SDH au niveau du CA2 d'Algérie Télécom.

I.1. Introduction :

Les réseaux de télécommunications ont pris un essor important dans le monde. Aujourd'hui, ce sont des systèmes que nous utilisons quotidiennement (utilisation de l'Internet et du téléphone par exemple). Les besoins des utilisateurs se multiplient, de plus en plus la complexité de ces systèmes augmente. On demande aux réseaux de télécommunications d'être efficaces, robustes, sûrs et toujours disponibles. Leurs gestions deviennent une activité qui est elle-même de plus en plus complexe.

Le rôle de ces réseaux et de l'industrie des télécommunications a récemment changé et les moyens de télécommunication ont pris une envergure extraordinaire. Ils sont devenus les plus utilisés pour la communication et la transmission des données informatiques.

Ce chapitre décrit les différents réseaux, les systèmes de transmission entre ces réseaux ainsi que les différents supports de transmission.

I.2. Réseaux de télécommunications :

I.2.1. Définition :

Le terme générique « réseau » définit un ensemble d'entités (objets, personnes, etc.) interconnectées les unes avec les autres. Un réseau permet ainsi de faire circuler des éléments entre chacune de ces entités selon des règles bien définies.

Le réseau de télécommunication est un ensemble de moyens techniques mis en œuvre pour permettre à deux usagers d'échanger des informations, d'une manière fidèle et fiable quelque soit la distance qui les sépare en un délai aussi court que possible et avec un coût raisonnable (voir la figure I.1).

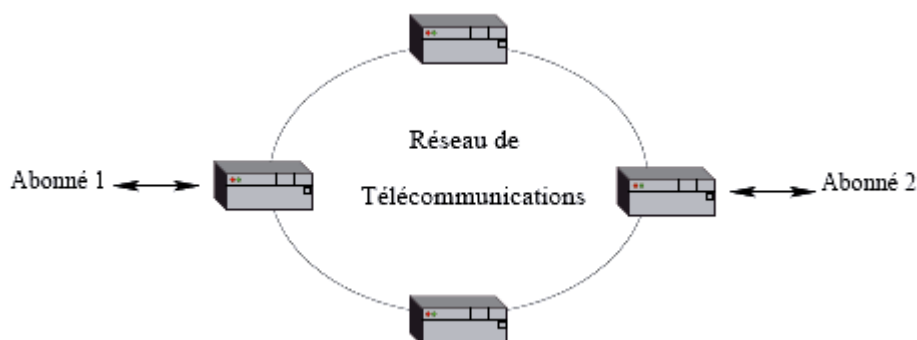


Figure I.1 : Réseau de télécommunication.

I.2.2. Différents types de réseau de télécommunications :

I.2.2.1. Le réseau téléphonique commuté (RTC):

Le réseau téléphonique a pour but d'assurer l'acheminement des conversations téléphoniques entre deux usagés qui sont des applications en temps réel. Il est basé sur la notion de commutation de circuits (circuit switching). Cela signifie que pendant une communication, un chemin de communication dédié, le circuit est attribué de façon exclusive à cette communication. Le circuit est constitué d'une série de liaisons entre la source et le destinataire, une fois établi, il reste en place pendant la durée de la communication. Lors de la demande d'établissement d'une telle communication, le contrôle du réseau recherche à établir un tel circuit. Ce n'est qu'une fois que le contrôle décide que la demande peut être honorée, la communication peut, donc, physiquement démarrer.

Même si le réseau téléphonique transporte aussi des données, l'application primaire reste le transport de la voix. Le trafic vocal est relativement continu et les conversations sont en moyenne longues (voire la figure I.2).

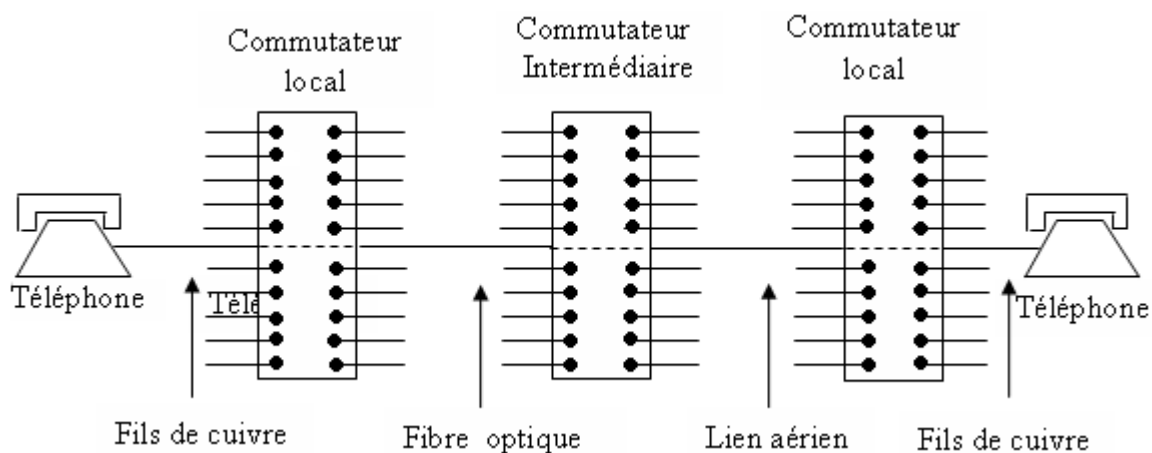


Figure I.2 : Le réseau RTC.

I.2.2.2. Les réseaux informatiques :

Un réseau informatique est un ensemble d'appareils (ordinateurs et périphériques) reliés entre eux grâce à des lignes physiques en échangeant des informations sous forme de données numériques (valeurs binaires).

I.2.2.2.1. Les types de réseaux informatiques :

On distingue différents types de réseaux selon leur taille (en termes de nombre de machines), leur vitesse de transfert des données ainsi que leur étendue. On distingue généralement trois catégories de réseaux :

- **LAN (Local Area Network):** Ce sont des réseaux à couverture géographique réduite (entreprises, bâtiments...etc). Les débits de ces réseaux vont de quelques mégabits à plusieurs centaines de mégabits par seconde. La taille d'un réseau local peut atteindre jusqu'à 1000 utilisateurs.
- **MAN (Metropolitan Area Network):** Ce réseau est généralement utilisé pour interconnecter un ensemble de réseaux locaux géographiquement dispersés. Il peut couvrir une circonscription géographique importante, tel, un grand campus ou une ville...etc.
- **WAN (Wide Area network):** Egalement appelé réseau étendue (langue distance). Ce réseau comme son nom l'indique, peut couvrir de grandes distances. En effet, sa zone de couverture est à l'échelle d'un pays, voir d'un continent ou de plusieurs continents.

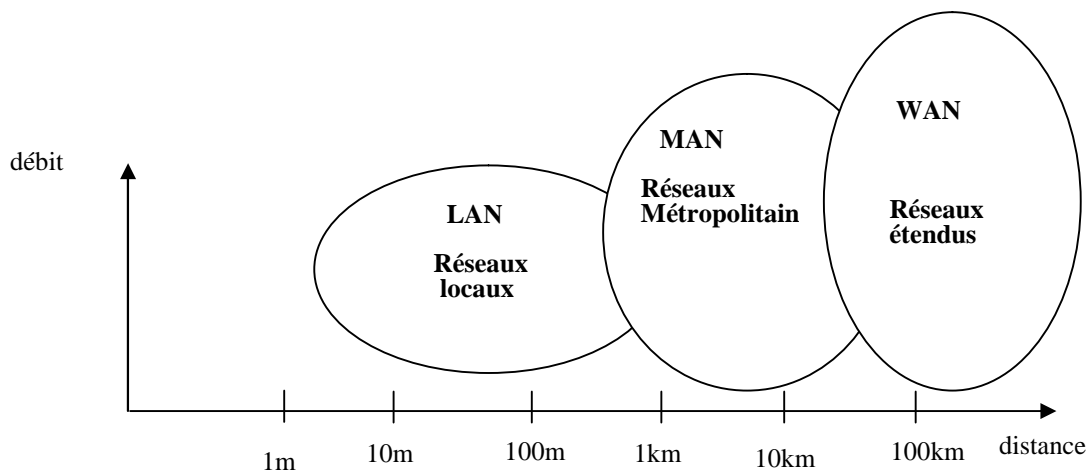


Figure I.3 : La répartition des réseaux informatique.

I.2.2.3. Le réseau RNIS :

Le RNIS (Réseau Numérique à Intégration de Services), connu en France sous le nom commercial donné par France Télécom « Numéris » (ISDN= Integrated Services Digital Network).

Un réseau Numérique à Intégration de Services est un réseau développé en général à partir d'un réseau téléphonique numérisé, qui autorise une connectivité numérique de bout en bout entre deux abonnés, assurant ainsi une large gamme de services, vocaux ou non tels que la téléphonie, la télécopie, base de données, messagerie électronique, la vidéo,etc, auxquels les usagers ont accès par un ensemble limité d'interfaces polyvalentes. Donc avec Numéris, la numérisation du support est prolongée jusqu'à l'utilisateur, assurant ainsi une continuité numérique de bout en bout. Cette numérisation de bout en bout permet d'avoir des transmissions performantes tant en terme de qualité et de sécurité que de rapidité. Cette numérisation associée à l'utilisation d'un canal

indépendant dédié à la signalisation, offre à l'utilisateur des outils qui lui permettent de mieux maîtriser ses communications.

En résumé, Numéris est un service qui assure une communication fiable et des débits très élevés par rapport au réseau téléphonique commuté classique, donc il est une évolution et cela avec une grande souplesse d'utilisation.



Figure I.4 : Exemple d'un réseau RNIS.

I.3. Systèmes de transmission:

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

- ✓ Un signal vocal (téléphonie), c'est-à-dire de la parole issue d'ondes acoustiques.
- ✓ Un signal de donnée de type texte, image ou schéma issus de supports tels que: ordinateur, écran, etc...

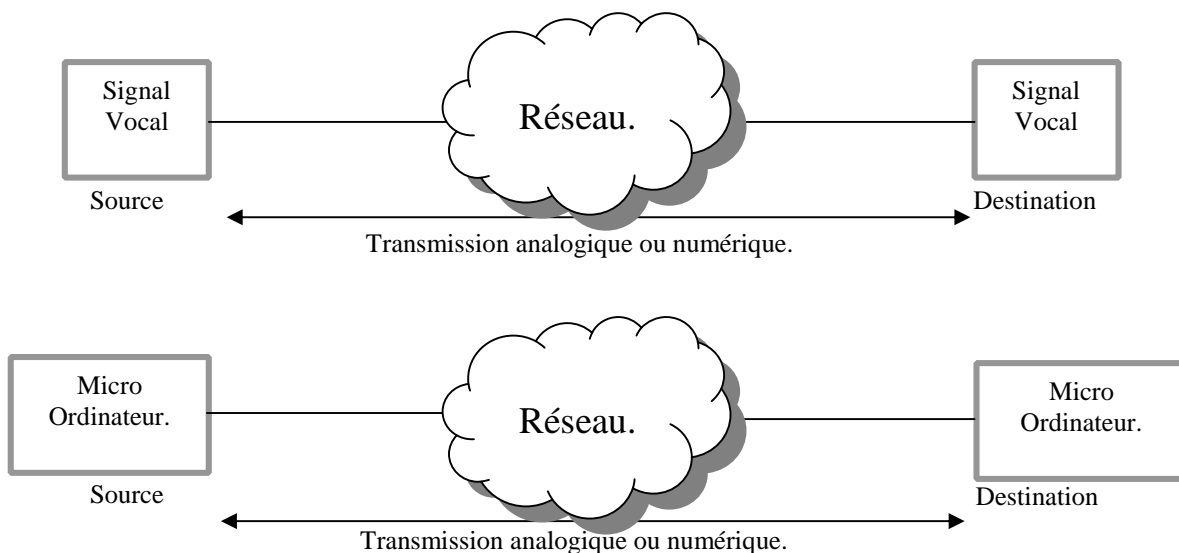


Figure I.5 : Représentation d'un système de transmission.

Pour transmettre ces informations d'un terminal à un autre à travers un réseau, il existe deux techniques:

I.3.1. Transmission analogique:

On appelle transmission analogique, la transmission d'un signal quelconque (variation de tension, courant et fréquence) sur un support de transmission (câble, air, fibre optique...). Ce type de transmission est appliqué dans les réseaux téléphoniques et de distribution de télévision, il consiste à l'acheminement simultané de plusieurs voies dans le même conduit physique afin d'optimiser l'utilisation des supports de transmissions. C'est le principe du multiplexage fréquentiel [6].



Figure I.6 : Représentation de la transmission analogique.

Actuellement dans le réseau analogique, la transmission entre les centraux de raccordement est de type numérique.

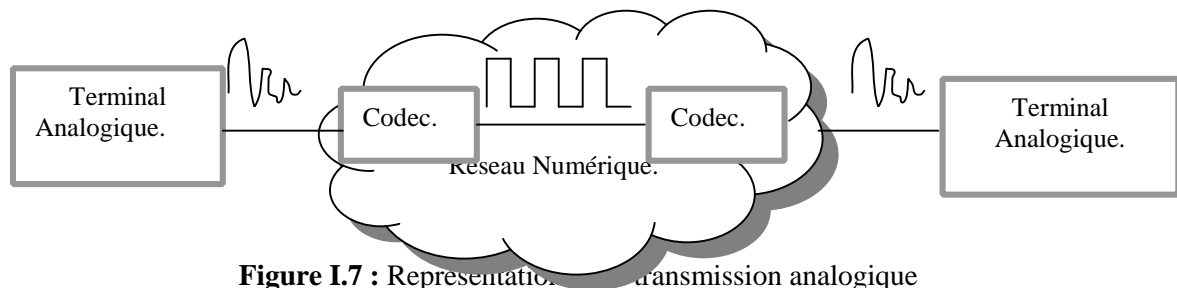


Figure I.7 : Représentation de la transmission analogique avec un raccordement numérique.

I.3.1.1. Fiabilité de la transmission analogique:

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

Tant que le signal est issu de la voie, cette déformation n'a pas d'importance, mais cela est d'autant plus gênant avec l'arrivée des ordinateurs et des télécopieurs, car les signaux fournis par ces équipements doivent être transmis fidèlement à l'autre extrémité de la ligne.

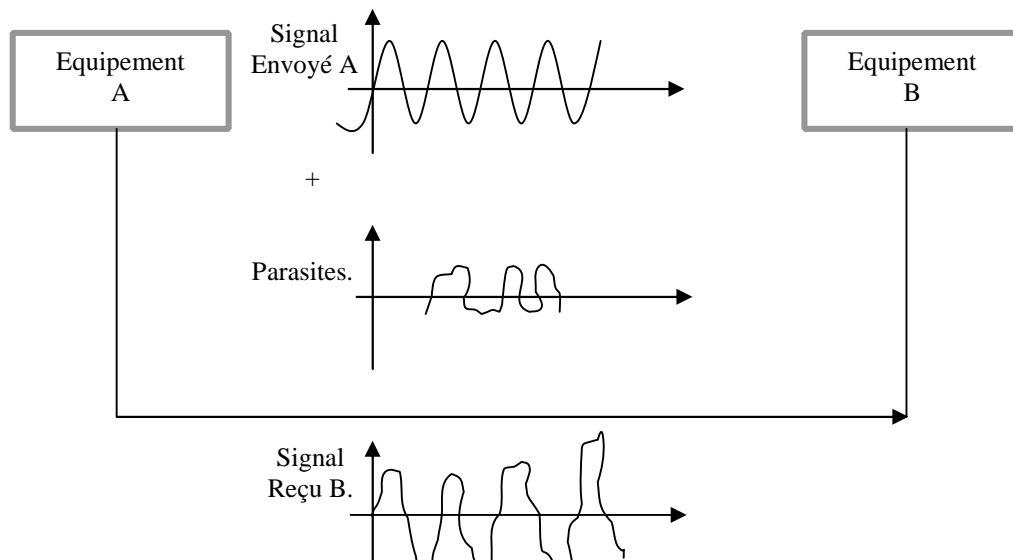


Figure I.8 : Fiabilité de la transmission analogique.

I.3.2: Transmission numérique:

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

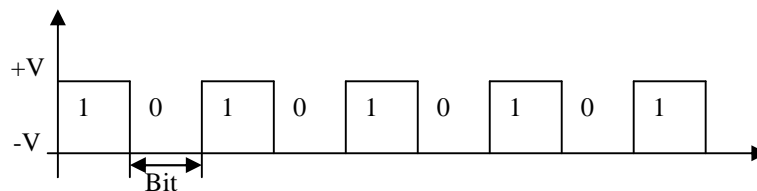


Figure I.9: Représentation d'un signal numérique.

Le signal à transmettre peut être numérique (données) ou analogique (parole, vidéo). Dans ce cas l'information subit une conversion analogique-numérique (CAN) au moyen d'une modulation numérique appelée modulation par impulsion codée (MIC ou PCM).

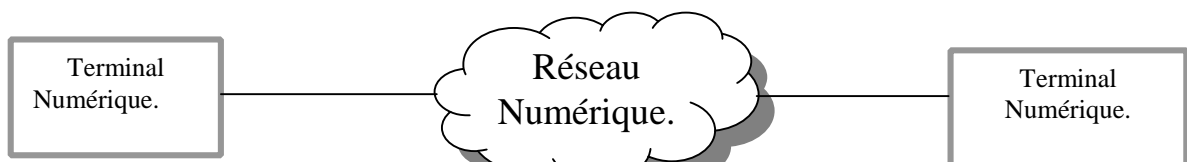
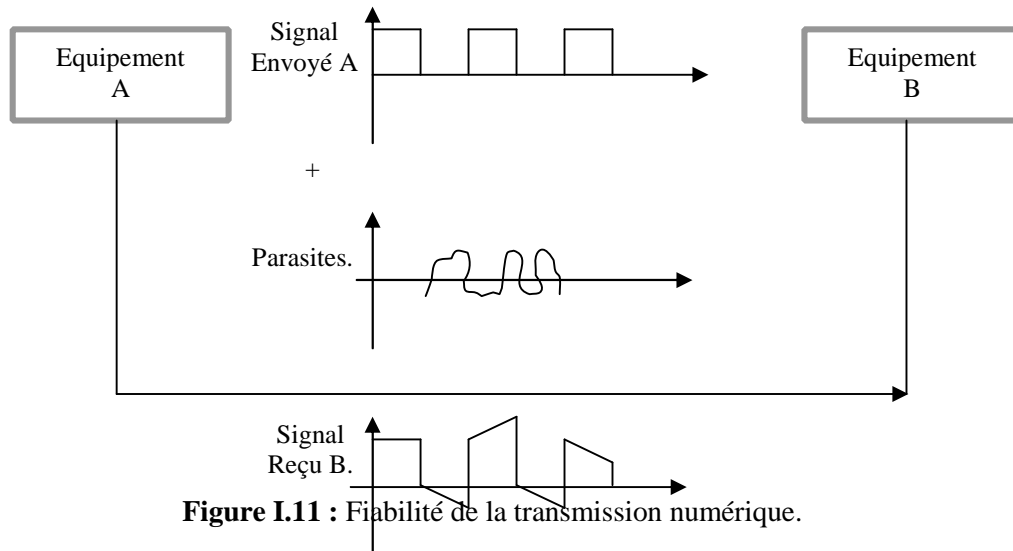


Figure I.10: Transmission numérique.

I.3.2.1. Fiabilité de la transmission numérique:

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



I.3.2.2. Avantages de la transmission numérique:

Les avantages apportés par la transmission numérique par rapport à l'analogique sont:

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

I.3.3. Transmission numérique MIC ou (PCM):

Le signal (l'information) analogique à transmettre doit être sous forme binaire, il sera donc converti par un CAN (échantillonnage, quantification et codage). La technique de base la plus utilisée est la modulation par impulsion codée (MIC). Cette transmission est utilisée dans le vaste système de communication et d'échange de données. Elle consiste à échantillonner l'information analogique provenant de la source, puis à convertir l'amplitude de chaque échantillon en code binaire pour effectuer sa transmission sur un support de transmission. L'information analogique peut être une conversation téléphonique (voies téléphoniques), un signal vidéo, données, etc....

On échantillonne en respectant la règle de SCHANON ($F_c \geq 2F_{\max}$), où F_{\max} est la fréquence la plus haute du signal à transmettre. Étant donné la fréquence maximum requise pour une communication téléphonique est de 4KHz, on échantillonne, donc, à une fréquence de 8KHz (tout les 125 μ s); quand à la quantification chaque échantillon est codé sur 8 bits.

Une conversation téléphonique consiste, donc, en un transfert de 8 bits chaque 125 μ s

soit un débit de 64 Kb/s. une trame MIC à 32 voies téléphoniques à une vitesse de 2,048Mbits/s (32x64Kb/s).

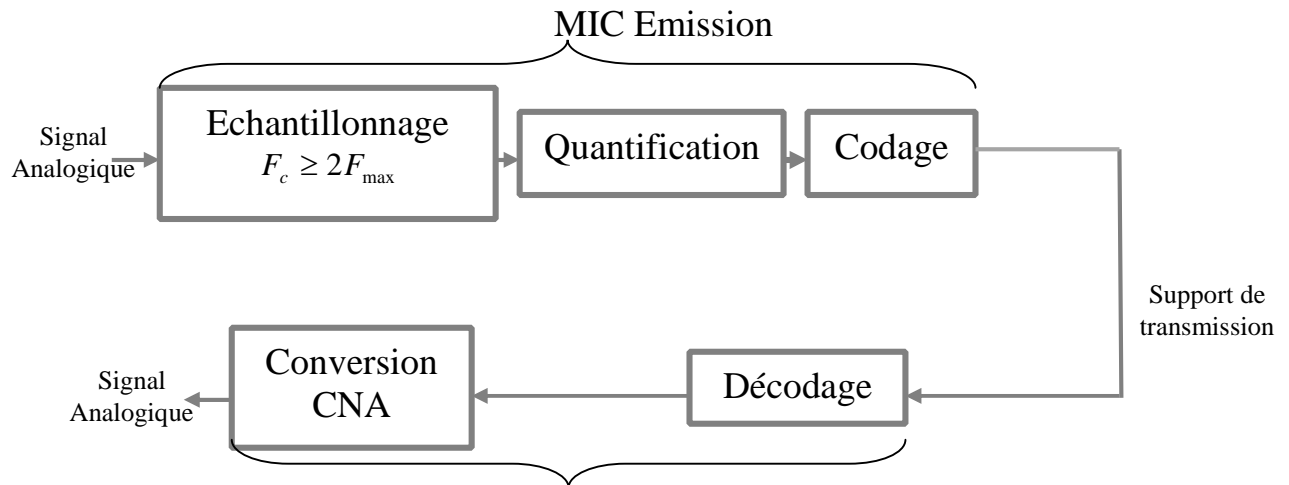


Figure I.12 : Schéma d'une liaison MIC.

I.3.3.1. Principe de la modulation MIC :

Cette technique se décompose en trois étapes à savoir l'échantillonnage, la quantification et le codage.

a. L'échantillonnage :

L'échantillonnage est le passage dans un espace de temps continu à un espace de temps discret. Il consiste à prélever des échantillons périodiquement dans chaque durée $T_e = \frac{1}{F_c}$ (Théorème de SHANON). Le signal obtenu est identique au signal de base dans les durées d'échantillonnage et nul ailleurs.

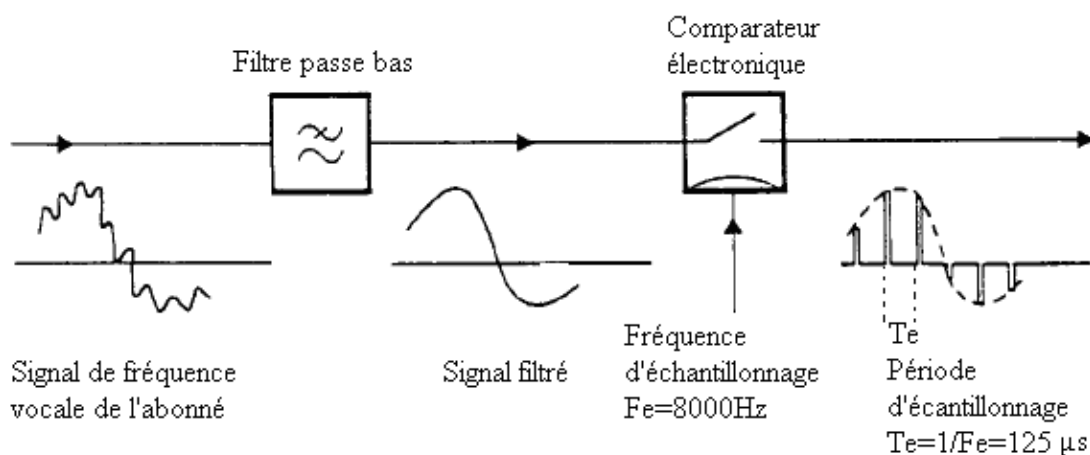


Figure I.13 : Processus d'échantillonnage.

b. La quantification :

La quantification consiste à Attribuer un nombre entier (q) à chaque échantillon du signal à l'échelle de quantification, avec :

$$q_i = q = \frac{2V_{\max}}{N} \quad (I.1)$$

La transmission des impulsions modulées sont très sensible aux bruits se qui rend la reconstitution du signal à la réception incomplète. Pour cette raison, nous quantifions le signal en faisant correspondre à chaque échantillon l'amplitude la plus voisine d'une suite discrète et finie d'amplitudes « étalons » appelées « niveaux ». C'est la valeur de ces niveaux qui, à l'émission, après codage seront transmises en ligne. La quantification est caractérisée par :

- Chaque plage comprise entre deux niveaux correspond à un numéro, c'est un mot codé en binaire.
- Pour la MIC, les échantillons sont codés par des mots de 8bits. On dispose donc de 256 mots (128 plages de niveaux positifs et 128 plages de niveau négatif). Les 8bits sont en général transmis en série; le débit binaire vaut alors 64kbit /s en téléphonie.
- L'erreur de quantification est d'autant plus faible que le nombre de plage est grand.

c. La compression :

D'après la répartition statique de la parole, le rapport signal sur bruit est faible pour les petits signaux que les forts signaux. Pour garder une bonne qualité de transmission; le rapport S/B doit être constant sur toutes les plages de fréquences.

Pour corriger ce problème on réalise la compression de signal. Il existe deux lois de compression :

- La loi Américaine dite la loi μ ,
- La loi Européenne dite la loi A.

Comme on cherche à transmettre un signal numérique, il est inutile d'utiliser une fonction continue pour la loi de compression, une approximation par des segments de droite est suffisante. Dans le cas de la loi A (loi européenne), la courbe de compression (logarithmique) est approchée par 8 segments de droite pour les valeurs positives, et 8 pour les valeurs négatives. Ces segments peuvent être numérotés, 3 bits suffisent pour ce faire.

Un bit supplémentaire permet de coder le signe. Sur un mot de 8 bits, il reste 4 bits pour coder la position de l'échantillon sur le segment considéré. Ainsi dans un codage SABCWXYZ le premier bit, S, code le signe de l'échantillon, les bits A, B, C codent le numéro d'un des 8 segments utilisés. Les quatre bits restants, (W, X, Y Z), sont utilisés pour préciser l'emplacement de l'échantillon sur le segment.

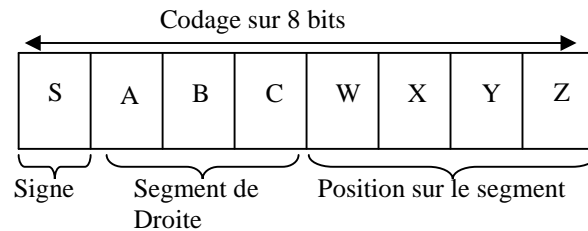


Figure I.14 : Codage des échantillons

Dans le cas de la loi μ (loi américaine), la courbe logarithmique est approchée par 15 segments de droite pour les valeurs positives et n'est pas compatible avec le système de la loi A. Pour le reste, la loi μ est analogue à loi A.

d. Le codage :

Chaque niveau de quantification est représenté par un nombre binaire de « n » bits, qui est le même pour tout les niveaux, ce qui permet une transmission synchrone de mot identique. En téléphonie $n=8$ bits, dont le premier bit est affecté au signe de l'échantillon et les sept bits servent à coder l'amplitude d'échantillon.

Il existe plusieurs méthodes de codage de l'information tel que le codage NRZ, le codage Manchester, le codage AMI et le codage HDB₃, etc... Actuellement, les plus utilisées dans le domaine de transmission sont : le codage Manchester et le HDB_n.

d.1. Le codage Manchester :

Dans le codage Manchester, un « 0 » est représenté par une transition montante ($-V$ à $+V$) au milieu d'une période d'horloge, un « 1 » par une transition descendante ($+V$ à $-V$). Toutefois, la présence de parasites peut endommager le signal et le rendre incompréhensible par le récepteur.

L'inconvénient présenté par ce codage nécessite un débit sur le canal de transmission plus élevé que le codage binaire. Pour un débit de 10Mbit/s transmis, on a besoin d'une fréquence de 10MHz[6].

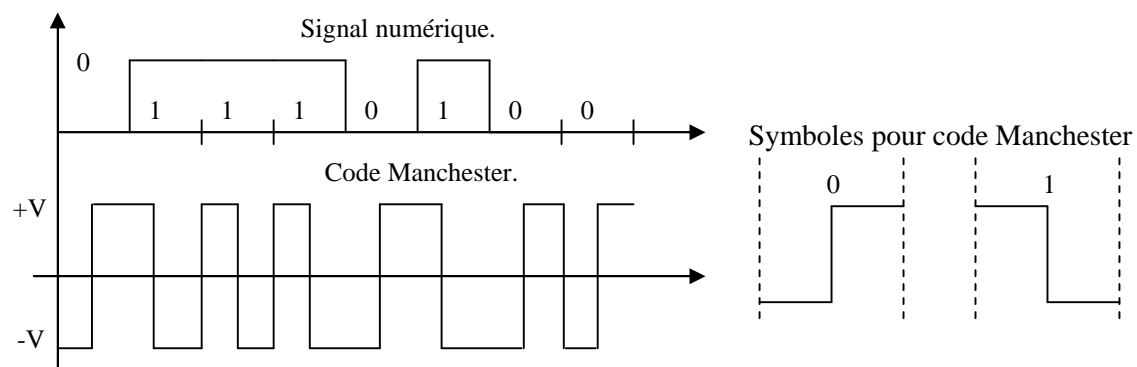


Figure I.15 : Codage Manchester.

Ceci le rend difficilement utilisable pour des débits plus élevés, ce qui est incompatible avec les possibilités du câblage actuel ainsi qu'avec les normes sur des compatibilités électromagnétiques. Plus la fréquence du signal est élevée, plus les phénomènes de diaphonies sont importants.

Dans certains cas, on utilise le code Manchester différentiel. C'est la présence ou l'absence de transition au début de l'intervalle du signal d'horloge. Un « 1 » est codé par l'absence de transition, un « 0 » est codé par une transition au début du cycle d'horloge.

Comme dans le codage Manchester, le niveau de signal est compris entre « $-V$ » et « $+V$ », l'avantage porté par ce codage (Manchester différentiel) est que les bits transmis sont les transitions de signal et pas ses états, il est donc insensible à l'inversion de fils dans le câblage.

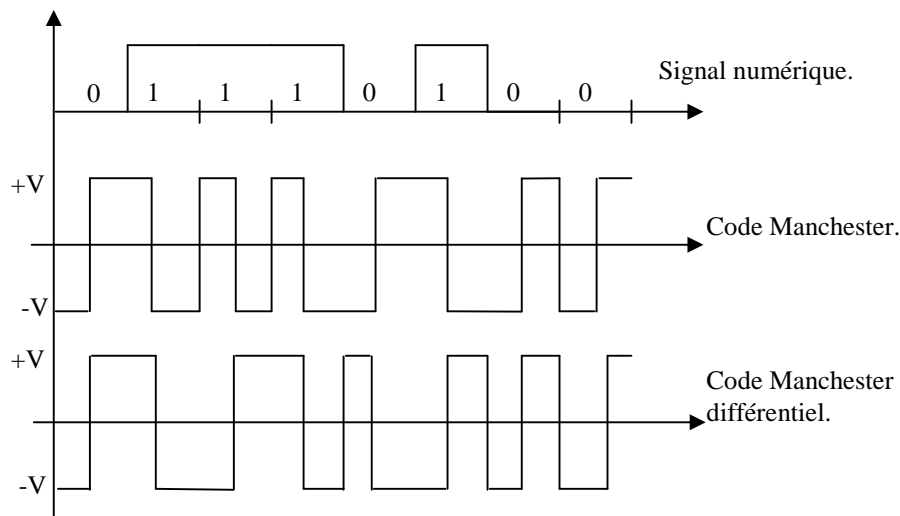


Figure I.16: Codage Manchester différentiel.

d.2. Le codage HDB₃ (High Density Binary):

Le HDB₃ est l'amélioration du codage AMI qui permet d'éliminer les longues suites de zéro « 0 » pouvant survenir dans le code AMI :

- **Règle 1 :** Lorsque quatre zéro se suivent (0000), le 4^{ème} est remplacé par un bit « V » appelé bit de viole de parité (000V). L'élément « V » prend la même polarité que l'élément du signal qui le précède et provoque donc une variation de parité du code AMI.
- **Règle 2 :** Lorsqu'un nombre paire d'élément (« 1 » logique) est présent, entre le bit « V » précédent et le nouveau bit « V » généré, le premier bit des quatre « 0 » doit être remplacé par un bit « B » appelé bit de bourrage. La polarité du « B » a la règle de codage AMI.

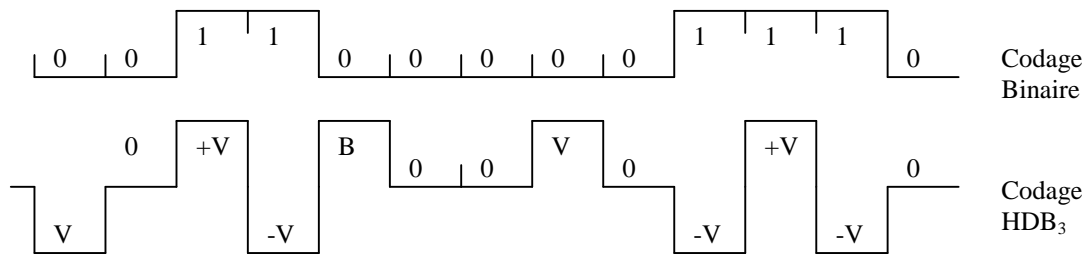


Figure I.17 : Codage HDB₃.

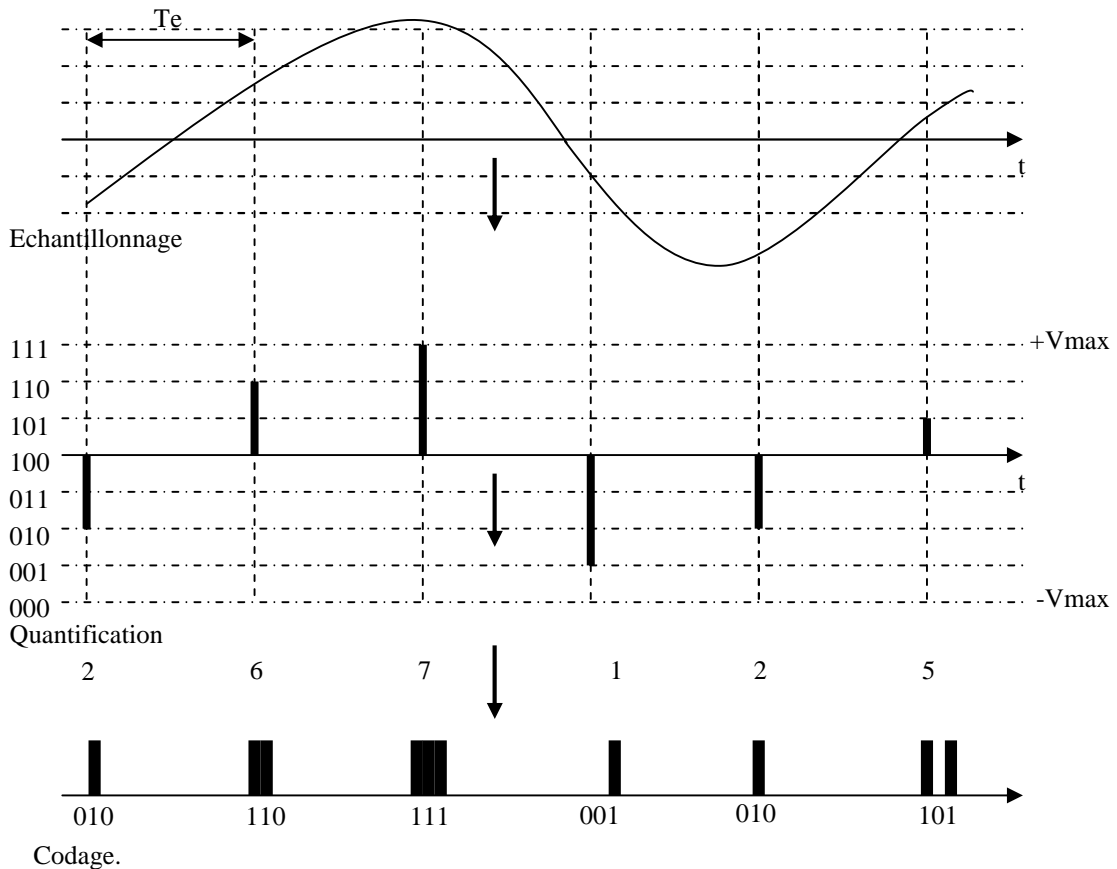


Figure I.18 : Processus d'échantillonnage de quantification et de codage.

I.3.3.2. Structure d'une trame MIC primaire (E1) :

Une fois que l'échantillon est codé, il peut être envoyé. Un nouvel échantillon peut, alors, être échantillonné, compressé et quantifié. L'ensemble de ces opérations doit, cependant, être limité dans le temps. En effet, puisqu'on échantillonne les 32 voies de 8 bits sur une fréquence de 8000 Hz, la durée des mots de 8 bits codant l'échantillon est de 125µs, donc la durée d'échantillon d'une voie est de 3,9µs, cette durée est appelée intervalle de temps (IT) ou bien time slot.

Dans une trame MIC, le débit correspondant à une seule voie est de :

$$8 \times 8000 = 64 \text{ Kbit/s.}$$

Soit pur une trame de 32 voies :

64Kbits/s x 32 = 2,048 Mbits/s.

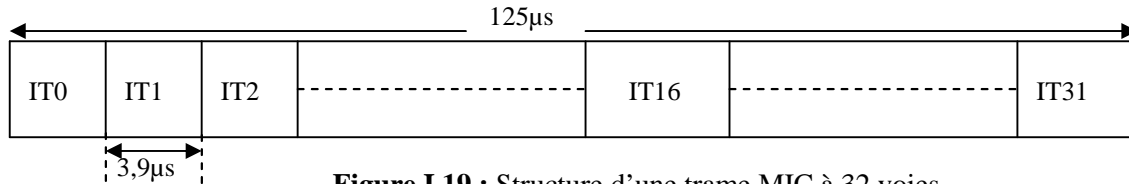


Figure I.19 : Structure d'une trame MIC à 32 voies.

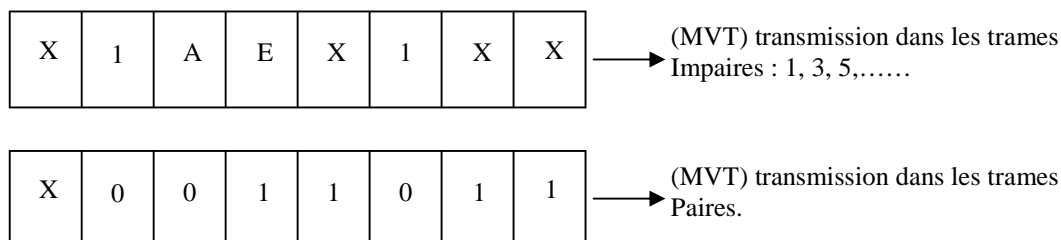
- IT1, IT2, IT3,....., IT15, IT17,..... IT31 : Intervalles de temps des voies de communications.
- IT0 : Intervalle de temps de verrouillage de trame (synchronisation).
- IT16 : Intervalle de temps consacré à la signalisation des voies.

a. Mot de verrouillage de Trame (MVT) :

Pour pouvoir être reconnue et pour que son origine soit repéré, la trame doit avoir la particularité suivante :

Dans les trames paires, l'IT0 est remplie avec VER un mot de verrouillage de trame (MVT) (VER1=X0011011, 1B ou 9B en hexadécimal). Dès que le récepteur « B » détecte ce mot, il peut se verrouiller.

Pour les trames impaires, le mot de verrouillage de trame de l'IT0 est remplie par VER2=X1AEX1XX. Dès que le verrouillage est constaté, « B » renvoie à « A » dans une trame impaire le mot VER2 avec B=1 et A=0. En revanche si A=1, c'est une alarme de perte de verrouillage de trame. Par sécurité le verrouillage n'est considéré comme perdu qu'après 3 alarmes successives.



b. La signalisation (IT16):

L'IT16 contient des informations de signalisation supplémentaires. En effet, il est nécessaire de transmettre les informations sur l'activité des 30 voies. Si une voie n'est pas

utilisée parce que le téléphone est "raccroché", par exemple à la fin d'une conversation, il est utile de signaler cet état.

L'IT16 ne contient que 8 bits, ce qui est insuffisant pour signaler l'état des 30 voies. Il est donc nécessaire d'utiliser plusieurs IT16 successifs dans plusieurs trames successives. Il a été choisi arbitrairement 4 bits pour transmettre l'état de chacune des voies. Par conséquent l'IT16 (8 bits) ne peut transmettre que les états de 2 voies à la fois. Il faudra donc attendre que 15 trames soient transmises pour que l'ensemble des états des 30 voies soient complètement signalés. En pratique 16 trames sont utilisées, et forment une "multi trame". La durée d'une multi trame est donc $125\mu\text{s} \times 16 = 2\text{ms}$.

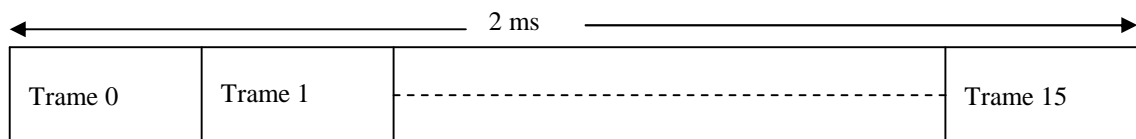


Figure I.20 : Structure d'une multi trame.

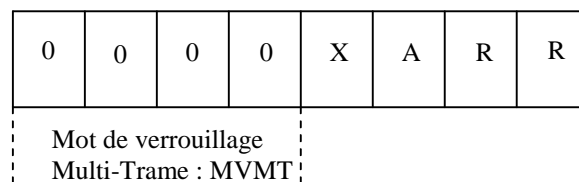


Figure I.21 : IT16 de la trame « 0 ».

- Le bit n^0 1 à 4 forment le mot de verrouillage multi-trame ;
- Le bit « X » Réserve international n^0 3 ;
- Le bit « A » utilisé pour l'alarme en cas de perte de MVMT : « 0 » pas d'alarme ;
- Les bits « R » sont en réserve.

I.3.3.3. Hiérarchie du MIC (Européen) :

	Nombres de Voies	Nombres de bits par pas d'échantillonnage.	Débits (Mbits/s)	Désignation.
1	30	256	2,048	2Mbits/s
2	120	1056	8,448	8Mbits/s
3	480	4296	34,368	34Mbits/s
4	1920	17408	139,264	140Mbits/s
5	7680	70624	564,992	565Mbits/s

Tableau I.1: Tableau représentatif de la hiérarchie du MIC Européen.

I.4. La technique du multiplexage:

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

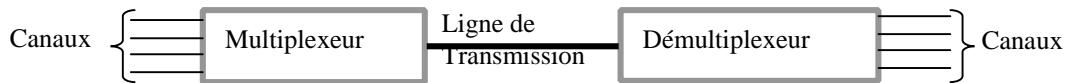


Figure I.22 : Technique de multiplexage.

Deux types du multiplexage de base sont largement utilisés en transmission, à savoir le FDM "Fréquence Divisions Multiplexing" ou MRF (Multiplexage à répartition en fréquence) mis en œuvre pour des signaux analogiques, et le TDM "Time Division Multiplexing" ou MRT (Multiplexage à répartition dans le temps) mis en œuvre pour des signaux numériques [6].

I.4.1. Le multiplexage fréquentiel FDM:

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

La modulation associée permet de positionner chaque canal dans la bande passante de la ligne, en pratique pour limiter les interférences, une bande de garde est nécessaire entre chaque bande de fréquence des différents canaux.

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

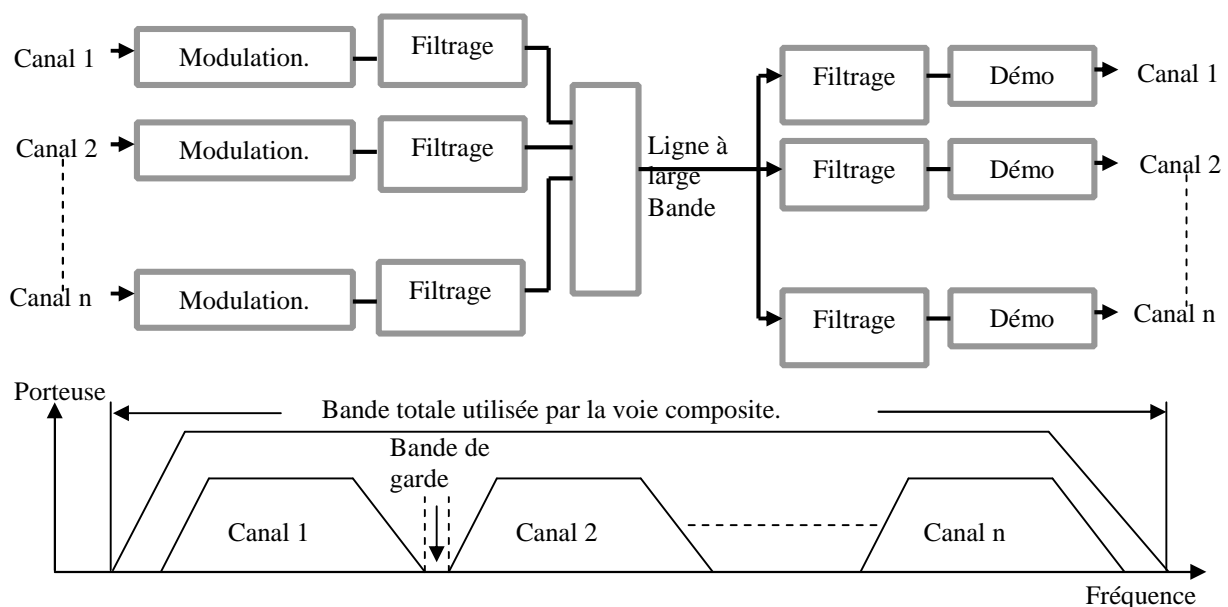


Figure I.23 : Principe de multiplexage FDM.

I.4.2. Le multiplexage temporel TDM:

Dans le multiplexage temporel TDM, l'allocation complète de la ligne aux différentes voies est effectuée périodiquement et pendant des intervalles de temps constants. Ce type de multiplexage est destinés aux signaux numériques, les éléments des messages de chaque voie sont mémorisés sous forme de bits ou de caractères dans des mémoires tampon puis transmis séquentiellement sur la voie composite. Ces éléments sont ainsi assemblés pour former les trames multiplexées.

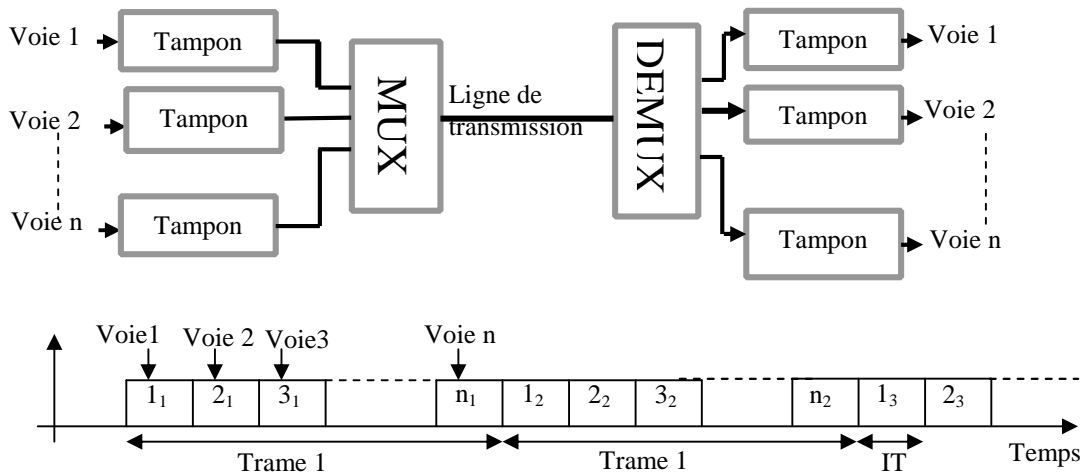


Figure I.24 : Principe de multiplexage TDM.

I.5. Les types de systèmes de transmission:

I.5.1. Transmission asynchrone:

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

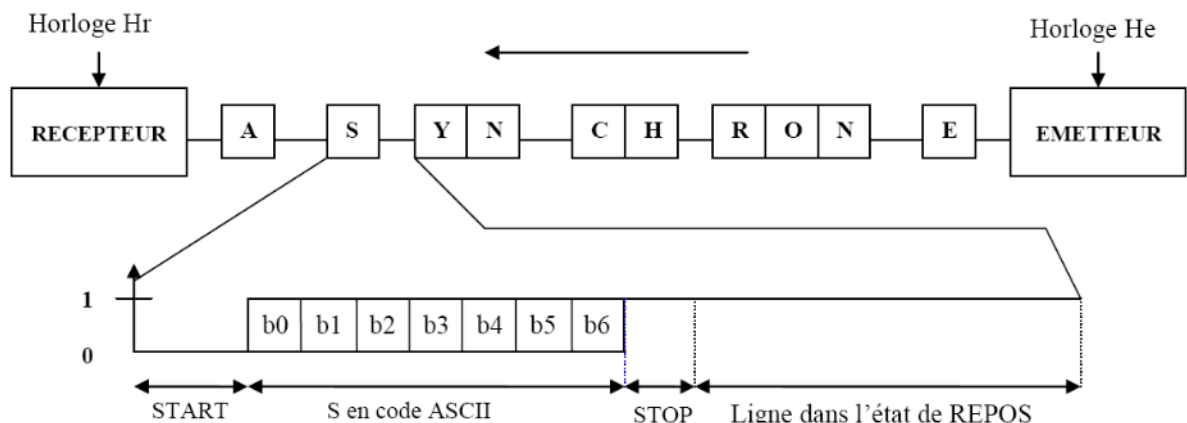


Figure I.25 : Principe de la transmission asynchrone.

Exemple : Transmission asynchrone PDH.

- Le bit de Start (indique le début d'émission d'un caractère) ;

- Éventuellement un bit de Parité (permet la détection d'erreurs) ;
- Un à deux bits de Stop (dont la durée définit un intervalle minimal de repos de la ligne).

En identifiant le bit de START, le récepteur déclenche la mise en route de l'horloge locale « Hr » qui permet la reconnaissance des bits b0 à b6.

I.5.2. Transmission synchrone:

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

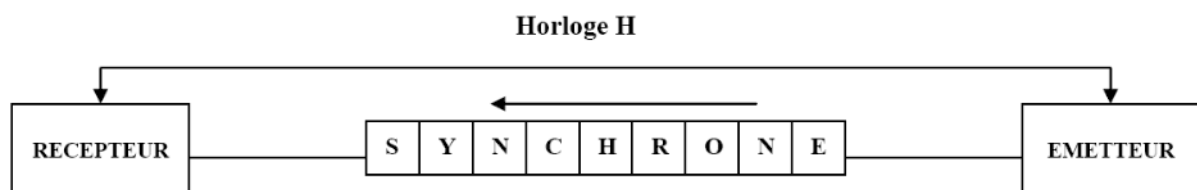


Figure I.26: Principe de la transmission synchrone.

I.6. Supports de transmission :

Les supports de transmission constituent les supports physiques, qui permettent de transporter l'information d'un point à l'autre. La ligne de transmission, appelée aussi canal de transmission ou voie de transmission.

I.6.1. Modélisation d'une ligne de transmission :

Un tronçon de ligne de longueur « dx » peut être représenté par le circuit électrique ci-dessous :

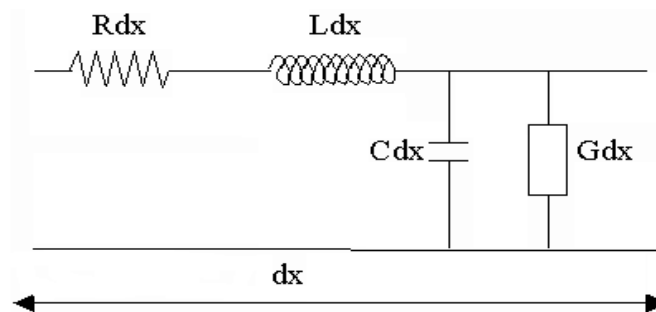


Figure I.27 : Modélisation d'une ligne de transmission.

Les éléments R, C, L et G sont appelés paramètres primaires de la ligne. Ces éléments représentent :

- En série, une résistance R et une inductance L pour représenter respectivement les pertes d'énergie active et réactive dans les conducteurs de la ligne.
- En parallèle, une conductance G et une capacité C pour représenter les pertes d'énergie active et réactive dans le diélectrique de la ligne.

I.6.2. Modes d'exploitation d'un support de transmission :

Pour communiquer les informations entre l'émetteur et le récepteur il existe différentes possibilités pour le sens de transmission [12] :

I.6.2.1. Mode simplex :

Dans ce mode, une extrémité émet et l'autre reçoit (transmission unidirectionnelle), ce type de transmission est utilisé dans la diffusion radio et TV.

Ce mode présente l'inconvénient de ne pas savoir si tout a été reçu par le destinataire sans erreur.

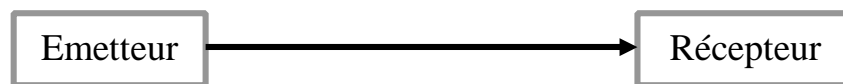


Figure I.28: Mode simplex.

I.6.2.2. Mode semi duplex (half duplex) :

Ce mode permet une transmission dans les deux sens (transmission bidirectionnelle). Alternativement chacune des deux extrémités reçoit et émet à tour de rôle, par exemple la conversation par talkie /walkie, l'émetteur est à l'écoute et il doit couper l'écoute s'il désire parler. Il est nécessaire de disposer d'un transmetteur aux deux extrémités.

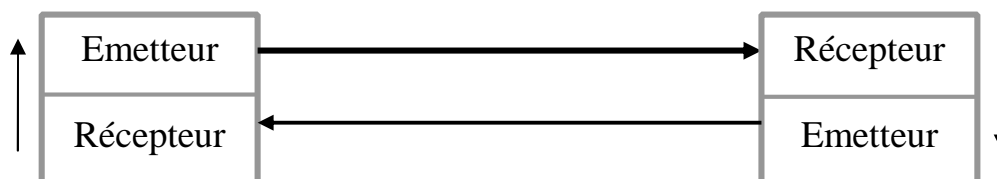


Figure I.29 : Mode semi duplex.

I.6.2.3. Mode duplex (full duplex) :

Il permet une transmission dans les deux sens au même temps, comme si deux interlocuteurs parlaient simultanément, on supposant que chacun entend et parle au même temps à titre d'exemple le téléphone.

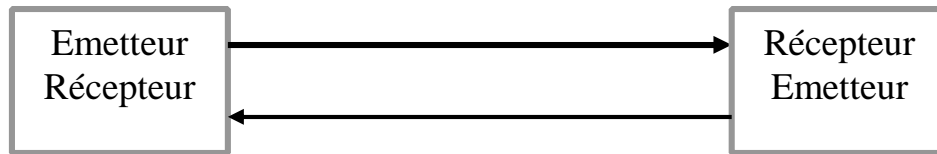


Figure I.30 : Mode duplex.

I.6.3. Les différents types du support de transmission :

Les supports physiques de transmissions sont les éléments permettant de faire circuler les informations entre les équipements de transmission. On classe généralement ces supports en trois catégories, selon leurs constitutions physiques :

- **Les supports filaires** : permettent de faire circuler une grandeur électrique sur un câble généralement métallique, par exemple câble coaxial, ligne bifilaire parallèle ou torsadé.
- **Les supports aériens** : désignent l'air ou le vide, ils permettent la circulation d'ondes électromagnétiques d'un point à l'autre par exemple les faisceaux hertziens et la transmission par satellite.
- **Les supports optiques** : permettent d'acheminer des informations sous forme lumineuse par exemple fibre optique.

I.6.3.1. Les supports filaires :

a. Ligne bifilaire parallèle :

Comme son nom l'indique, une ligne bifilaire est composée de deux fils parallèles (conducteur), qui sont maintenus à une distance constante par des entretoises isolantes ou par une bande en polyéthylène.

Du fait que la masse de diélectrique entre les deux conducteurs est faible, la ligne bifilaire a des pertes nettement moins élevées que le câble coaxial, en outre le fil utilisé est généralement de diamètre plus élevé que celui d'un coaxial. La ligne bifilaire peut donc supporter des surtensions locales très élevées (intensité importante) ; c'est pour cela qu'elle est utilisée pour l'alimentation d'antennes à impédance élevée.

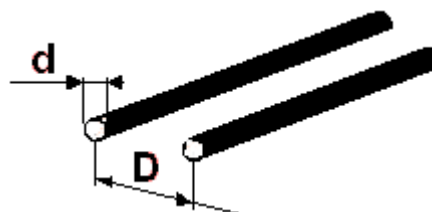


Figure I.31 : ligne bifilaire parallèle

b. Le câble à paire torsadée :

Le câble à paire torsadée est largement diffusé parce qu'il est à l'origine utilisé pour les lignes téléphoniques. Il est le support le plus utilisé à l'intérieur d'un bâtiment à l'échelle mondiale.

Ce support est constitué de deux fils de cuivre isolés et enroulés l'un sur l'autre d'où son nom, ces fils sont « enroulés » ou « torsadés » dans le but de maintenir la distance entre fils et de diminuer les pertes de signal (diaphonie) et les perturbations électromagnétiques, Plus le nombre de torsades est important, plus la diaphonie est réduite.

Actuellement on utilise plutôt des câbles constitués de 2 ou 4 paires torsadées qui sont très répandues (connexion facile et coût faible). Pour améliorer les performances, on utilise la paire torsadée blindée qui est plus résistante aux perturbations électromagnétiques et autorise un débit pouvant aller jusqu'à 16 Mbits/s.

On les utilise sur de courtes longueurs, qui ne dépassent pas le Kilomètre à des fréquences qui dépassent rarement 150 MHz, ainsi pour relier deux étages d'un émetteur-récepteur entre eux et pour réaliser un transformateur HF à large bande.



Figure I.32 : paire torsadée.

d. Câble coaxial :

Le câble coaxial est constitué de deux conducteurs concentriques. Le conducteur intérieur (cœur) en cuivre sert à véhiculer l'information (onde électromagnétique) sous forme d'un courant ou d'une tension, il est centré à l'aide d'un diélectrique polyvinyle ou téflon assurant son isolation par rapport au conducteur externe. Ce dernier qui est relié à la masse, peut être en cuivre ou en aluminium. Il est présenté soit sous forme de tresse (figure ci-dessous) ou sous forme de ruban enroulé autour du diélectrique, il joue le rôle d'un blindage métallique contre les signaux parasites, le tout est recouvert d'une gaine isolante comme le montre la figure I.33.

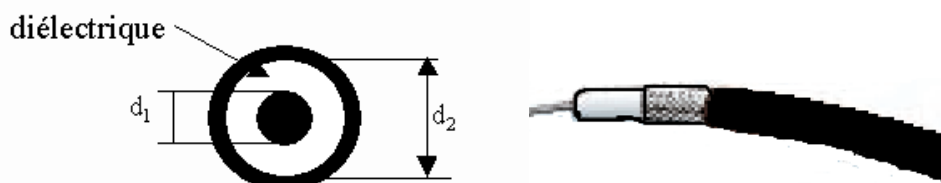


Figure I.33 : câble coaxiale.

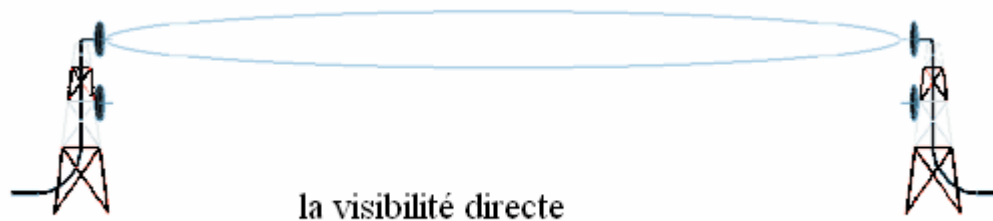
Le câble coaxial est utilisé en téléphonie, entre une antenne TV et un téléviseur ; radio émetteur, récepteur, dans les réseaux de transmissions de données tels que l'Ethernet aéronautique, dans les câbles sous-marins, laboratoire de mesures physiques, etc.

I.6.3.2. Support aérien :

a. Les faisceaux hertziens :

Une liaison hertzienne est composée d'un émetteur qui génère des l'onde électromagnétiques qui se propagent dans l'espace. Une partie de la puissance des ondes émises est captée par le récepteur.

Dans les transmissions à haute fréquence, l'émetteur et le récepteur doivent être en visibilité directe et distant de quelque mètre à quelque kilomètre.



Dans le cas d'une transmission à longue distance, les ondes électromagnétiques doivent être amplifiées pour compenser les atténuations et les pertes subites l'onde lors de la propagation. Le signal émis est amplifié chaque certaine distance par des relais composés d'un récepteur/émetteur pour la réémission du signale, Comme le montre la figure suivante :

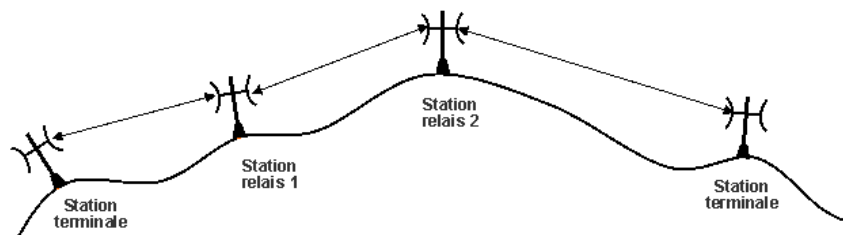


Figure I.34 : La liaison hertzienne.

Les liaisons hertziennes sont généralement utilisées dans les zones d'habitats dispersés, ou quand les conditions géographiques l'exigent (montagne, reliefs, etc...).

a.1. Les caractéristiques :

- Fréquence porteuse comprise entre 1 et 40 GHz
- Utilisation d'antennes directives. (Yagi, parabole)

- Portée variant de 10 à 60km.
- Modulations numériques MIC
- débit de 140Mbits/s
- la bande de fréquence 7 à 11 GHz.

b. La transmission par satellite :

Les liaisons satellitaires utilisent les mêmes bandes de fréquences que les liaisons hertziennes. Les satellites permettent de réduire le nombre de points hertziens grâce à leur grande couverture, ils sont utilisés en télécommunication pour les liaisons intercontinentales et nationales pour les applications nécessitant la couverture de grandes zones géographiques telles que le GPS, la télévision par satellite, la téléphonie mobile etc.

Techniquement, les liaisons par satellite peuvent se subdiviser complètement en faisceaux hertziens mais l'importance des coûts de maintenance des satellites limite leurs utilisations à des applications spécifiques. Le temps que met une onde pour atteindre le satellite est de 0.12 secondes, durée qui n'est pas négligeable et qui peut perturber une communication téléphonique.

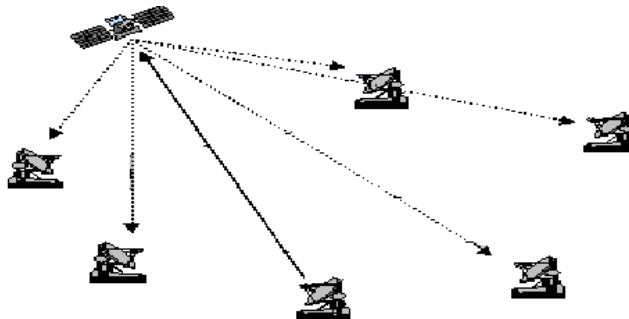


Figure I.35 : La liaison satellitaire.

Suivant l'orbite à laquelle se situe le satellite, il est possible de définir trois grandes catégories de satellite :

- Les satellites LEO (Low Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite se situant entre 500 à 2000 Km.
- Les satellites MEO (Medium Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite se situant entre 5000 à 20000 Km.
- Les satellites GEO (Geosynchronous Earth Orbit) : Ils sont situés sur une orbite 36600 Km.

I.6.3.3. Les supports optiques :

a. Liaison optique a l'air libre :

Elle est composée d'un émetteur qui émis un faisceau lumineux, en générale un laser, qui se propage jusqu'au récepteur qui est un photodétecteur.

Cette liaison est utilisée pour les courtes distances par exemple une liaison entre deux ordinateurs.

b. Les fibres optiques :

La fibre optique est un support de transmission privilégié, son utilisation prend de l'ampleur de jour en jour, grâce à ses propriétés exceptionnelles et particulièrement sa bande passante qui est très large avec une atténuation très faible.

L'utilisation de la fibre optique pour la transmission d'informations sous entend que le signal transporté est une onde lumineuse. Le système de transmission doit donc inclure un dispositif assurant la conversion électrique/optique à l'émission, ce rôle est généralement assuré par une diode laser ou une diode électroluminescente et un photodétecteur qui est capable de reconnaître le signal et permettra d'assurer la conversion inverse à la réception.

D'un point de vue technique, la fibre optique est constituée d'un cylindre de verre de silice ou de plastique très mince entouré d'une gaine généralement de même matériau mais présentant un indice de réfraction optique plus faible, le tout est protégé par une gaine extérieure.

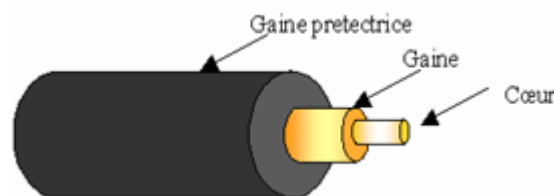


Figure I.36 : Fibre optique en silice.

b.1. Caractéristiques des fibres optiques :

Les principales caractéristiques qui ont assuré le développement de la fibre optique et qui en ont fait le support privilégié pour les liaisons grandes distances et hauts débits sont :

Une bande passante très large, ce qui autorise des débits de transmission très élevés.

Une faible atténuation, ce qui autorise des liaisons à grande distance.

Une insensibilité aux perturbations électromagnétiques, ce qui garantie une diaphonie nulle et une grande sécurité contre les intrusions.

Un poids et des dimensions très réduites, ce qui permet d'insérer dans le même câble un nombre très important de lignes.

I.7. Conclusion :

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

La transmission des signaux numérique, particulièrement ceux de la SDH, s'intéresse à la largeur de bande des supports de transmission utilisés. En effet, le choix de la fibre optique comme support a été fait, dû aux caractéristiques de celle-ci, qui seront illustrés dans le chapitre suivant.

II.1. Introduction :

De nos jours, les transmissions par fibres optiques sont devenues des techniques courantes et éprouvées dans le domaine des télécommunications. L'utilisation de guides d'ondes optiques représente le mode de transmission le plus fiable et le plus économique, lorsqu'il s'agit d'acheminer des débits élevés sur de grandes distances, mais aussi un nombre élevé de canaux.

La conception des systèmes de transmission par fibres optiques nécessite la connaissance des caractéristiques et du fonctionnement des sous ensembles impliqués.

La figure II.1 illustre les différents modules d'une transmission rencontrés dans une liaison par fibre optique.

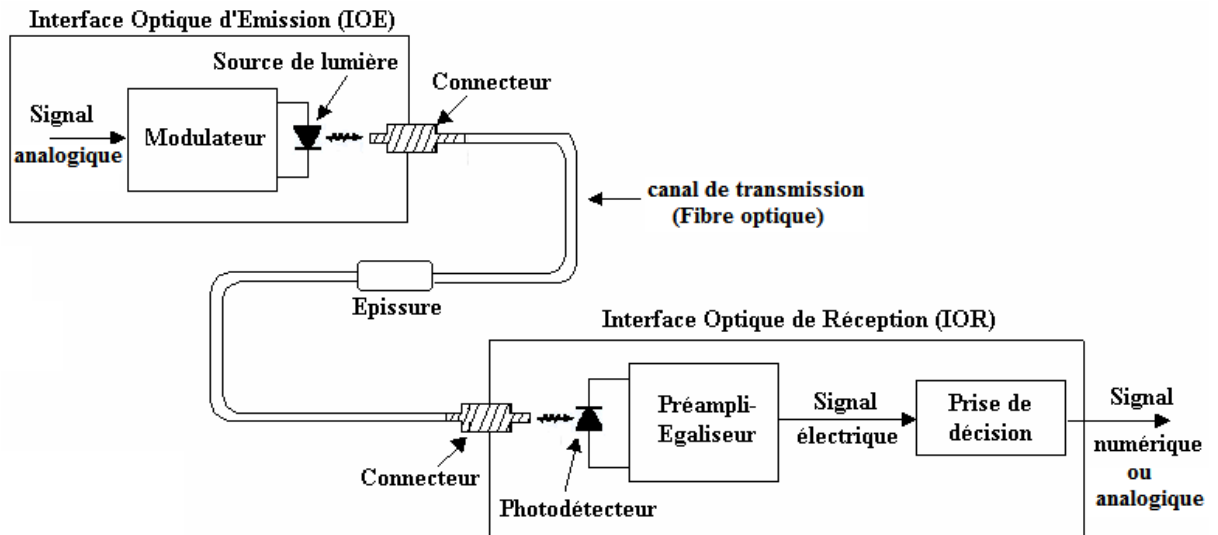


Figure II.1 : Synoptique d'une liaison optique.

II.2. Notions générales :

II.2.1. Indice de réfraction (indice optique):

Par définition l'indice « n » d'un milieu est égal au rapport de la célérité « C » de la lumière dans le vide à celle de la lumière dans ce milieu.

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu\varepsilon} \quad (II.1)$$

II.2.2. Théorèmes optiques :

➤ Loi de la réflexion (1^{ère} loi de Descartes) :

La réflexion est le renvoi de la lumière lors d'une rupture d'impédance (interface). La 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 » [7].

➤ Loi de la réfraction (2^{ième} loi de Descartes) :

La réfraction est la déviation subite par les rayons lumineux à la traversée de l'interface séparant deux milieux transparents. La loi de Descartes stipule que: « Le rayon réfracté se trouve dans le plan d'incidence ; il existe un rapport constant entre le sinus des angles d'incidences et de réfraction i et i', rapport qui représente l'indice « n » du deuxième milieu par rapport au premier » [7].

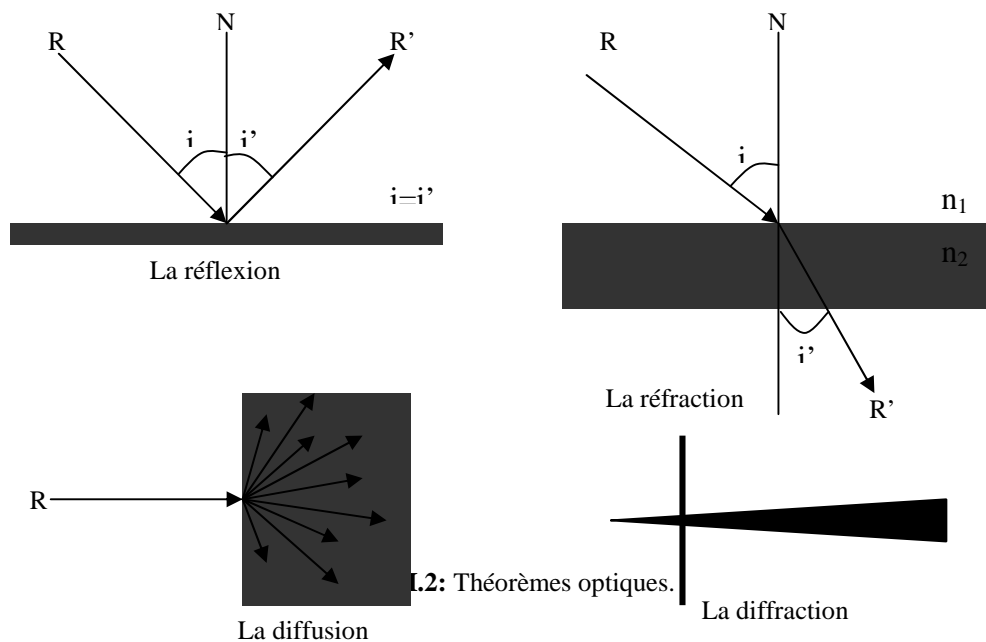
$$n_1 \sin(i) = n_2 \sin(i') \quad (II.2)$$

➤ **Diffusion:**

La diffusion est le renvoi de la lumière dans toutes les directions par le milieu qu'elle éclaire.

➤ **Diffraction:**

La diffraction se traduit par un changement de direction du rayon lumineux traversant une ouverture de faible diamètre.



II.3. Principe d'une liaison optique :

Tout système de communication par fibre optique, que ce soit pour la téléphonie, l'image ou la transmission de données, peut être décomposé en trois éléments, à savoir : un émetteur, un canal et un récepteur [7].

La longueur de transmission maximale du canal (fibre optique) dépend de deux paramètres :

- La gamme de sensibilité du photodétecteur dans le récepteur, permet de déterminer le budget optique autorisé.
- La bande passante du signal à transmettre, influe le choix sur la qualité de la fibre à utiliser.

II.3.1. La fibre optique :

La fibre optique est un guide d'onde qui exploite les propriétés de réfraction de la lumière. Elle est habituellement constituée d'un cœur entouré d'une gaine. Le cœur de la fibre a un indice de réfraction légèrement plus élevé que ce lui de la gaine $n \# 10^{-3}$ et peut donc confiner la lumière qui se trouve entièrement réfléchi entre les deux matériaux (en

raison du phénomène de réflexion totale interne FOSI). L'ensemble est recouvert d'une gaine protectrice en plastique [7].

Lorsqu'un rayon lumineux entre dans une fibre optique à l'une de ses extrémités avec un angle adéquat, il subit des réflexions totales internes. Ce rayon se propage alors jusqu'à l'autre extrémité de la fibre optique, en empruntant un parcours en zigzag. La propagation de la lumière dans la fibre peut se faire avec très peu de pertes même lorsque la fibre est courbée.

II.3.1.1. Types de la fibre optique :

Suivant les dimensions du cœur et les expressions des indices « n_1 » et « n_2 », on peut classer les fibres en deux catégories suivant la fréquence normalisée « V » qui est donnée par la relation suivante [9] :

$$V = \frac{2\pi \cdot a}{\lambda_0} \cdot n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (II.3)$$

Avec : $\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$, est la différence d'indice relative, « λ_0 » représente la longueur d'onde de la lumière utilisée et « a » c'est le diamètre du cœur.

- Pour $V < 2.405$: La fibre ne comporte qu'un mode de propagation, elle est appelée fibre monomode.
- Pour $V > 2.405$: La fibre est appelée multimode et se divise en deux sous-catégories :
 - Fibre multimode à saut d'indice.
 - Fibre multimode à gradient d'indice.

a. La fibre multimode :

La fibre multimode est une fibre dont la partie centrale (le cœur) a un diamètre grand devant la longueur d'onde. Plusieurs parcours possible du rayon lumineux dans la fibre d'où l'appellation multimode. On distingue deux catégories de ce type:

a.1. La fibre multimode à saut d'indice :

La première fibre optique produite était la fibre multimode à saut d'indice, elle est constituée d'un cœur d'indice de réfraction uniforme « n_1 » et d'une gaine d'indice de réfraction « n_2 », avec un changement brusque d'indice de réfraction (saut), à la frontière entre le cœur et la gaine, d'où son nom.

La lumière est guidée par réflexion interne totale à l'interface cœur-gaine, il suit donc un chemin en zigzag.

L'inconvénient de ce type de fibre résulte de l'écart important du temps de propagation des différents rayons lumineux et donc un élargissement conséquent du signal d'entrée, la déformation et la dispersion du signal reçu, ce qui limite la bande passante.

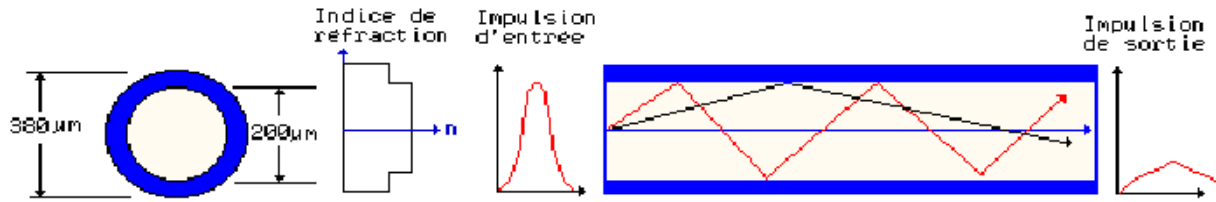


Figure II.3 : La fibre multimode à saut d'indice.

a.2. La fibre multimode à gradient d'indice :

Afin de limiter le phénomène l'élargissement d'impulsion, la fibre à gradient d'indice a été développée.

Le cœur est constitué de plusieurs couches successives du matériau dopé (SiO₂) ayant des indices de réfraction proches. Ces derniers diminuent graduellement depuis l'axe jusqu'à la gaine suivant une courbe parabolique.

Le rayon ne se propage plus en zigzag mais en ondulation autour de l'axe avec une vitesse d'autant plus grande que le rayon est éloigné de l'axe, ceci permet de ramener tous les temps de propagation des différents rayons à des valeurs très proches les unes des autres.

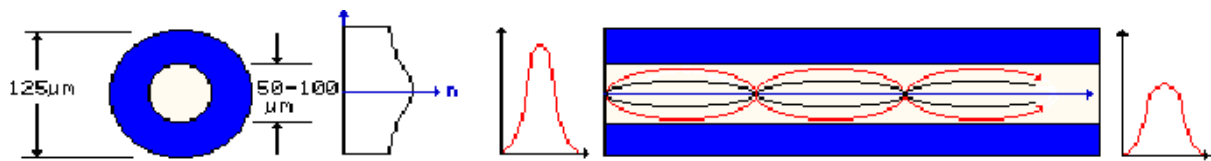


Figure II.4: La fibre multimode à gradient d'indice.

b. La fibre monomode :

Dans ce type de fibre le diamètre de cœur est fin, afin de ne laisser se propager qu'un seul mode unique, à savoir le mode HE₁₁, d'où son appellation. Le nombre de modes se propageant dans une fibre optique est donné par la relation suivante [9]:

$$N_m = \frac{2v}{\pi} = \frac{4a}{\lambda} ON \quad (II.4)$$

Avec :

: La fréquence normalisée.

ON : L'ouverture numérique.

En choisissant le diamètre du cœur suffisamment faible, il est possible d'avoir un seul mode de propagation (N_m = 1 ⇔ fibre monomode). Le chemin de propagation est ainsi unique et parallèle à l'axe de la fibre. Pour cela il nécessite une grande puissance d'émission donc des diodes au laser qui fonctionnent à la longueur d'onde soit à 1300 soit de 1550nm), qui sont onéreuses. Ceci a pour conséquence de faire disparaître le phénomène d'élargissement d'impulsion, d'où une bande passante très grande.

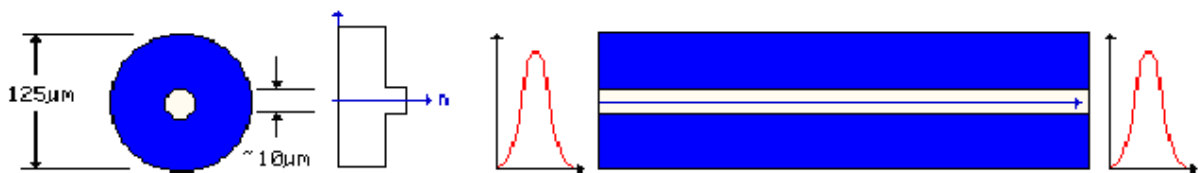


Figure II.5: La fibre monomode.

II.3.1.2. Caractéristiques de la fibre optique:

a. Ouverture numérique :

L'ouverture numérique caractérise l'angle maximum que doit faire le faisceau incident pour assurer sa propagation dans la fibre [8].

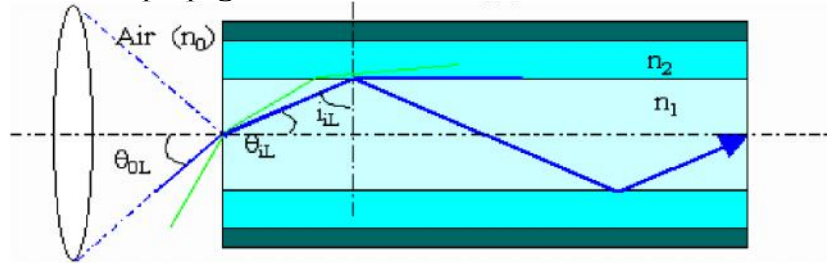


Figure II.6: Définition de l'ouverture numérique.

$$n_0 \cdot \sin(\theta_{OL}) = n_1 \cdot \sin(\theta_{iL}) \quad (II.5)$$

$$n_1 \cdot \sin(i_{iL}) = n_2 \cdot \sin(i_2) \quad (II.6)$$

Pour qu'il y ait réflexion totale, il faut que i_{iL} soit supérieure à l'angle critique donnée par:

$$\sin(i_{iLc}) = \frac{n_2}{n_1} \quad (II.7)$$

Comme ($i_{iL} = 90^\circ - i_{iL}$).

$$\sin(\theta_{OL}) = \frac{n_1}{n_0} \cdot \sin(\theta_{iL}) = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} \quad (II.8)$$

On définit l'ouverture numérique (ON) par :

$$ON = \frac{(n_1^2 - n_2^2)^{1/2}}{n_0} \quad (II.9)$$

Plus l'ouverture numérique est grande plus la puissance lumineuse injectée dans la fibre est importante.

b. Atténuation :

La puissance optimale « P » disponible après un parcours de « x » Km dans une fibre optique est pour une puissance injectée P_0 égale à :

$$P = P_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (II.10)$$

: est le coefficient d'atténuation linéique, exprimé en db/Km et représente la somme de l'ensemble des pertes dans la fibre ($\alpha = 0,16 \text{ dB/Km}$ pour $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$). Ces pertes sont de différentes natures dont [7]:

b.1. Pertes intrinsèques:

Elles dépendent de la nature physicochimique de la fibre (la nature et la structure de la matière constituant la fibre).

b.1.1. Pertes par absorption moléculaire:

Elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés dans celle-ci.

b.1.2. Perte par diffusion :

Elle est causée par les variations de concentrations et de densités des dopants utilisés et les défauts de structure (bulle, microfracture, microcourbure, impuretés). En fonction de la taille de ces défauts, on parlera de diffusion de Rayleigh (petits défauts devant la longueur d'onde).

b.1.3. Perte par affaiblissement différentiel :

Elle est causée soit par la variation du diamètre du cœur, soit par variation de l'ouverture numérique.

b.1.4. Perte par Couplage de mode :

C'est l'échange d'énergie entre les différents modes, elle est généralement due aux microcourbures présentes dans la fibre.

b.2. Pertes extrinsèques :

Elles dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composant.

b.2.1. Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres :

Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.

b.2.2. Les microcourbures :

Elles sont des courbures très faibles, incontrôlables dues au conditionnement des fibres dans les câbles.

b.2.3. Les raccordements :

Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer des pertes de raccordement.

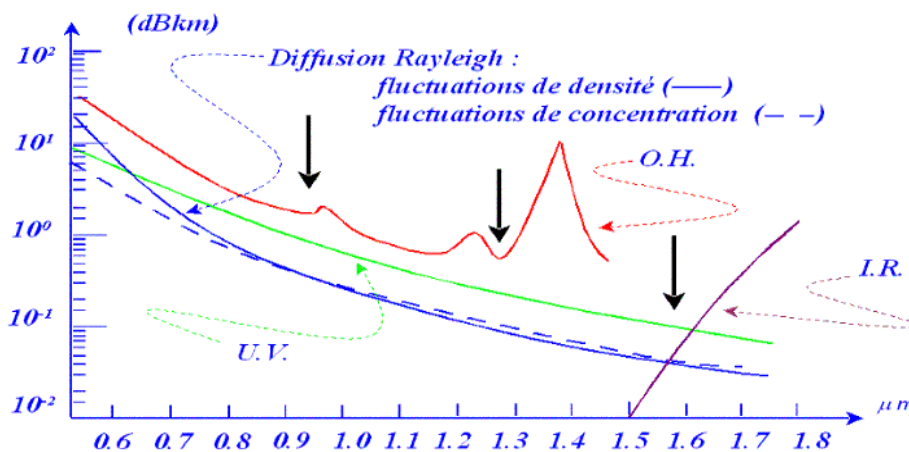


Figure II.7: Atténuation dans la fibre optique en fonction de la longueur d'onde.

c. Dispersion :

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal, causant ainsi un élargissement d'impulsions au cours de leurs propagations dans la fibre optique. Il existe deux types de dispersion :

c.1. Dispersion chromatique (intermodale) :

La dispersion chromatique, caractérise l'étalement du signal lié à sa largeur spectrale (deux longueurs d'ondes différentes ne se propagent pas exactement à la même vitesse). Cette dispersion dépend de la longueur d'onde considérée et résulte de la somme

de deux effets : la dispersion propre au matériau, et la dispersion du guide, liée à la forme du profil d'indice. Il est donc possible de la minimiser en adaptant le profil. Pour une fibre en silice, le minimum de dispersion se situe vers 1300-1310 nm et le minimum des minimums se situe à la longueur d'onde 1550nm (laser).

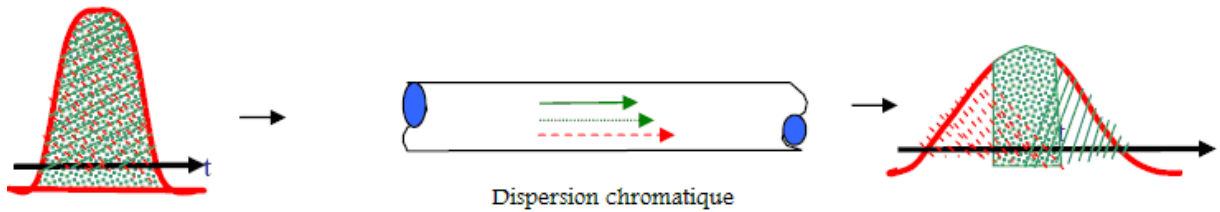


Figure II.8 : La dispersion chromatique (intermodale).

c.2. Dispersion modale (intermodale) :

Dans une fibre, les différents rayons lumineux ne suivent pas le même trajet (mode) ; celui-ci dépend de l'angle d'incidence à l'interface air-verre, le mode le plus court sera celui qui suit parfaitement l'axe optique de la fibre, par contre le plus long sera celui ayant l'angle d'incidence à l'interface cœur-gaine le plus grand autorisé.

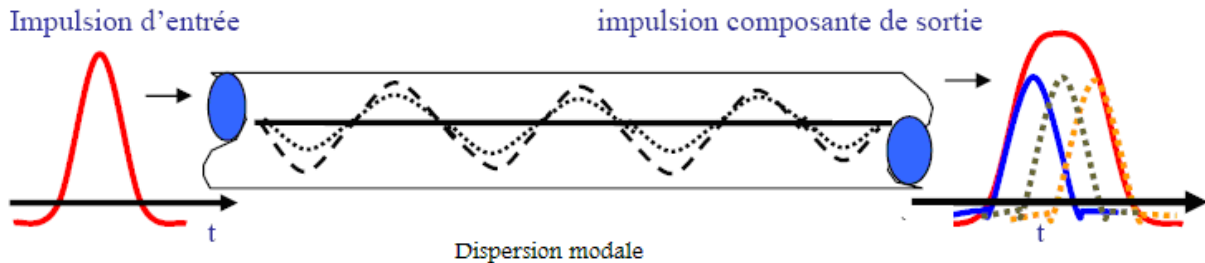


Figure II.9 : La dispersion modale (intermodale).

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

d. Bande passante :

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

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

$$B_{\text{Totale}} = \sqrt{\frac{1}{[1/B^{(\text{chr})}]^2 + [1/B^{(\text{mod})}]^2}} \quad (\text{II.11})$$

$B^{(\text{chr})}$: bande résultante de la dispersion chromatique.

$B^{(\text{mod})}$: bande dérivante de la dispersion modale.

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

Fibre multimode $B_{\text{Totale}} = B^{(\text{mod})}$

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

Fibre monomode $B_{\text{Totale}} = B^{(\text{chr})}$.

La figure II.10 représente l'atténuation des lignes de transmission en fonction de la fréquence sur une échelle logarithmique.

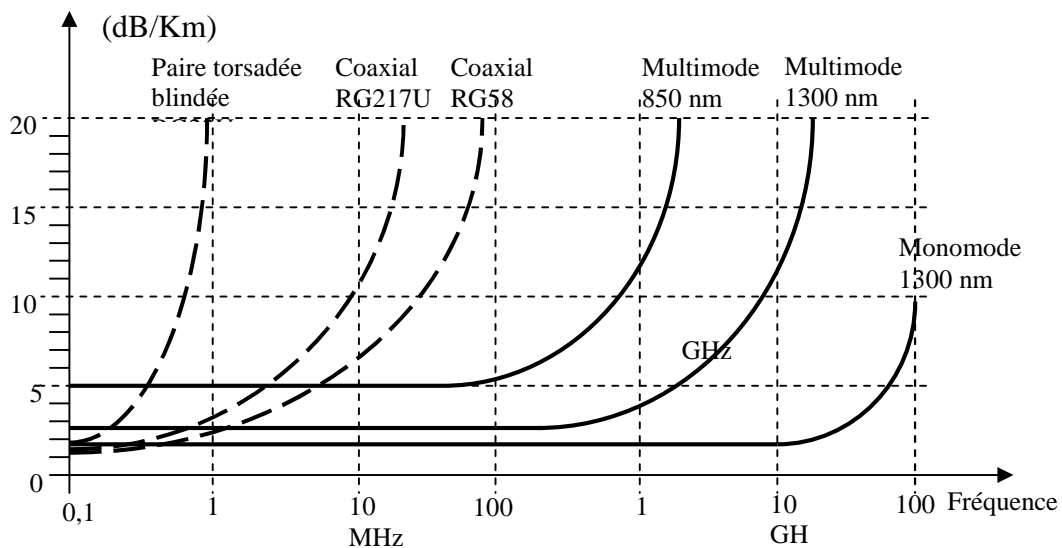


Figure II.10 : Les bandes passantes de quelques types de lignes de transmission.

II.3.1.3. Avantages et inconvénients des fibres optiques :

a. Avantages :

Ils sont nombreux et on peut les classer comme suit :

- **Performances de transmission :**

Très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible de plusieurs signaux ; elles permettent aux systèmes d'avoir une portée et une capacité très grandes relativement à celles des câbles conducteurs.

- **Avantage de mise en oeuvre :**

Très petite taille, grande souplesse, faible poids, appréciables aussi bien en télécommunications que pour le câblage en informatique, aéronautiques, applications industrielles.

- **Sécurité électrique :**

Isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous forte tension.

- **Sécurité électromagnétique :**

La fibre optique n'est pas sensible aux parasites et n'en crée pas elle-même.

- **Avantage économique :**

Contrairement à l'idée encore répandue, le coût globale d'un système sur fibre optique et de plus en plus souvent inférieur à celui d'un système sur cuivre.

b. Inconvénients

- Les répéteurs doivent être alimentés séparément, soit localement, soit par second câble électrique, soit par un câble mixte optique et électrique.
- Les techniciens des installations doivent protéger leurs yeux. Il est indispensable de porter des verres de protection infrarouge pour travailler de près sur un dispositif en fonctionnement.
- Perte de raccordement entre différents composants optiques du système. Parmi les pertes de raccordement on trouve :
 - 📌 Pertes de couplage à la source : une partie seulement de la puissance émise par la source (laser) sera captée par la fibre à cause de la désadaptation entre eux.
 - 📌 Pertes d'épissure : elle est due à la discontinuité des rayons, une erreur d'espacement, une erreur d'excentricité, une erreur d'alignement angulaire.

II.3.2. Module d'émission :

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

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

La figure suivante représente un synoptique des fonctions remplies par de tels émetteurs qui doivent agir comme des convertisseurs électro-optiques. Cette conversion est assurée par des composants à semi-conducteurs qui se regroupent en deux catégories : les diodes électroluminescentes et les diodes laser qui sont les plus utilisées actuellement.

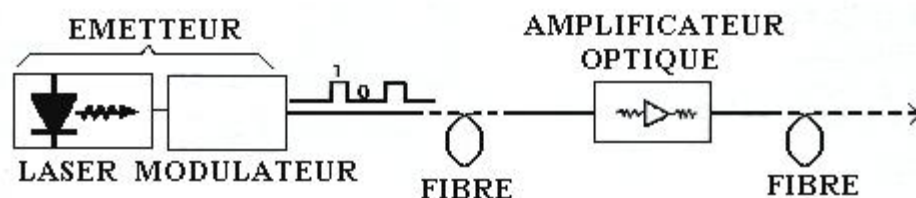


Figure II.11: Synoptique du module d'émission.

II.3.2.1. Conversion Electro-optique :

Depuis le début des télécommunications par fibre optique, le choix des sources optiques s'est porté sur les émetteurs à semi-conducteur à cause de leurs petites dimensions en rapport avec celles du cœur des fibres optiques, de la facilité de modulation de la lumière émise en agissant sur le courant, de leur spectre optique relativement étroit et de leur faible consommation énergétique. Ainsi, la diode laser est la source la mieux adaptée pour les télécommunications optiques car elle permet d'avoir la meilleure efficacité de couplage optique avec la fibre.

II.3.2.1.1. Laser :

LASER est l'acronyme de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation qui signifie amplification de lumière par émission stimulée de rayonnement. Tout types de laser (y compris les diodes laser) comportent :

a. Un milieu amplificateur :

Dans un [laser](#), le milieu amplificateur est un matériau qui permet de compenser les pertes que la lumière subit au fur et à mesure qu'elle effectue des allers-retours dans la [cavité optique](#). Le [gain](#) est souvent créé par [émission stimulée](#). Pour cela, une source d'énergie est nécessaire pour réaliser l'[inversion de population](#).

En effet, dans un semi-conducteur, un électron peut transiter d'une bande d'énergie à une autre, ce qui se traduit par l'émission ou l'absorption d'un photon.

a.1. Emission spontanée :

Dans une DEL l'émission spontanée est dominante : les électrons et les trous ayant une durée de vie τ_{sp} se recombinent dans un semi-conducteur à gap direct en émettant un photon (recombinaison radiative).

- L'électron occupe un niveau d'énergie E_2 dans la bande de conduction.
- Le trou occupe un niveau d'énergie E_1 dans la bande de valence.

Le photon émis a l'énergie :

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad (\text{II.12})$$

L'énergie du photon est légèrement supérieure à l'énergie de la bande interdite, mais pas très différente, on peut écrire en première approximation : $h\nu \approx E_G$

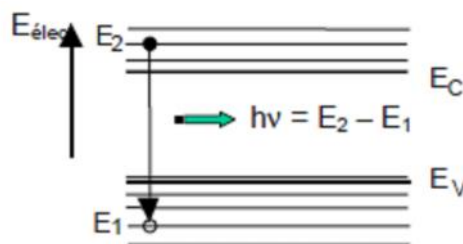


Figure II.12: Emission spontanée.

Les photons sont émis de façon aléatoire, de sorte que le rayonnement produit par un grand nombre de recombinaisons spontanées est incohérent.

a.2. Absorption et émission stimulée :

Nous allons considérer un système constitué d'atomes isolés identiques de densité atomique N , chaque atome possédant entre autres, deux niveaux d'énergie E_2 et E_1 , entre lesquels les électrons vont effectuer des transitions.

- **Etat fondamental** : l'électron est sur le niveau E_1 ; soit N_1 la densité atomique correspondante.
- **Etat excité** : l'électron est sur le niveau E_2 ; soit N_2 la densité atomique correspondante.

Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique, d'énergie $h = E_2 - E_1$ se propage dans le milieu, les photons qui constituent ce faisceau, peuvent produire deux effets totalement symétriques :

a.2.1. Absorption : Un photon peut fournir son énergie à un électron situé sur le niveau E_1 , ce qui provoque une transition $E_1 \rightarrow E_2$. Le photon disparaît (il est absorbé).

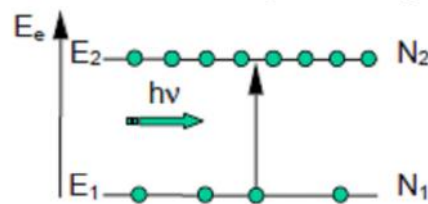


Figure II.13: Absorption.

a.2.2. Emission stimulée : En supposant qu'un électron soit présent sur le niveau E_2 , le passage d'un photon peut déclencher une transition électronique $E_2 \rightarrow E_1$ qui s'accompagne de l'émission d'un photon identique au photon incident (même fréquence et même phase).

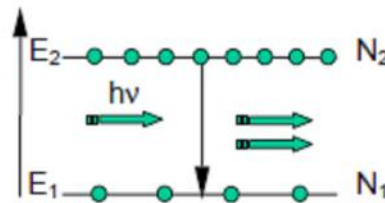


Figure II.14 : Emission stimulée.

b. La contre réaction optique (cavité):

Elle est souvent obtenue en plaçant le milieu amplificateur dans une cavité optique (cavité de Fabry-Perrot), ou résonateur optique qui est un dispositif dans lequel certains [rayons lumineux](#) sont susceptibles de rester confinés grâce à des [miroirs](#) sur lesquels ils se réfléchissent. Ces miroirs sont obtenus par clivage; ils sont donc presque de même nature, dont au moins l'un des deux est partiellement réfléchissant. C'est-à-dire qu'une partie de la lumière sort de la cavité et l'autre partie est réinjectée vers l'intérieur de la cavité laser. Ces cavités sont indispensables aux [lasers](#) pour que leur lumière passe plusieurs fois dans leur [milieu amplificateur](#).

II.3.2.1.2. La diode laser :

Les diodes laser sont des composants à base de semi-conducteurs contenant un milieu amplificateur, une cavité résonante. L'inversion de population est réalisée par injection de porteurs (électrons et trous).

Tant que l'on reste en dessous d'une valeur seuil du courant d'injection I_S (Figure II.15), la diode laser se comporte comme une diode électroluminescente ; des que le seuil est dépassé ($I > I_S$), l'inversion de population est réalisée et l'effet laser est déclenché.

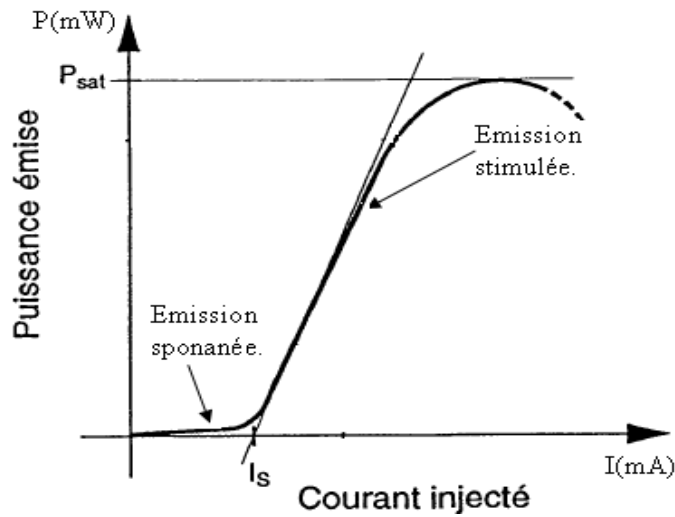


Figure II.15 : Puissance émise par une diode laser en fonction du courant.

Les diodes laser se caractérisent par l'étroitesse du spectre en longueur d'onde qu'elles émettent. Le spectre émis se compose de plusieurs raies centrées autour de la longueur d'onde principale (Figure II.16) nm

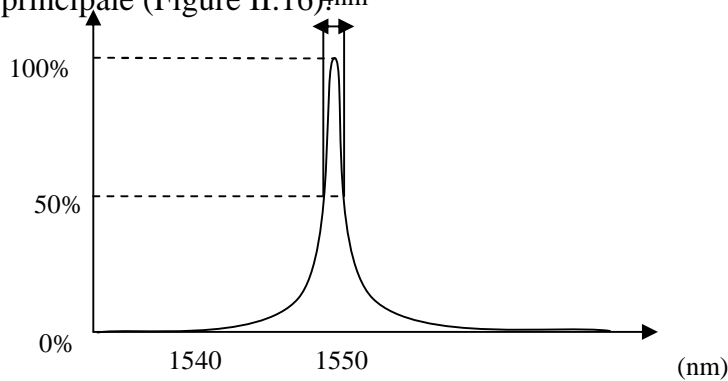


Figure II.16: caractéristiques spectrale de la diode laser.

a. Caractéristiques de la diode laser :

❖ Puissance d'émission :

La puissance optique est mesurée à l'aide d'une photodiode étalonnée, que l'on place devant l'entête de la diode laser. La valeur du courant de seuil I_s est obtenue graphiquement par extrapolation de la courbe expérimentale.

Admettons que pour $I > I_s$, les recombinaisons électrons- trous produisent des photons par émission stimulée avec une efficacité quantique « η_i ». Le nombre de photons créés par seconde s'écrit :

$$N_{ph} = \eta_i \frac{I - I_s}{q} \quad (II.13)$$

Ceci correspond à une puissance optique cohérente émise à l'intérieur de la cavité [8] :

$$P_t = \eta_i \frac{I - I_s}{q} h\nu \quad (II.14)$$

❖ Diagramme de rayonnement :

Le diagramme de rayonnement de la diode laser est plus étroit que celui de la LED, cela est dû généralement au diamètre de l'entête de chacune d'eux.

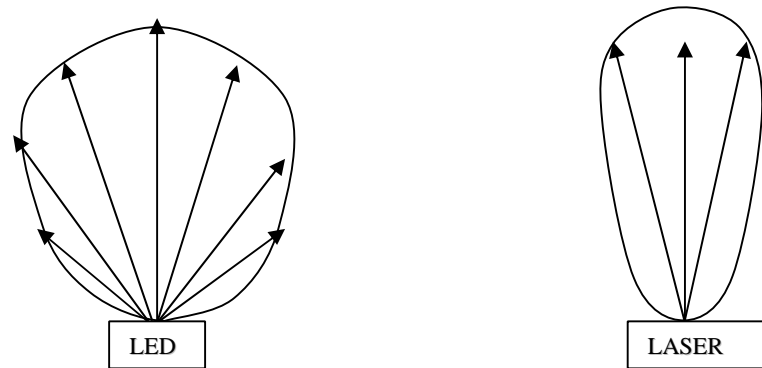


Figure II.17 : Diagramme de rayonnement

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

$$Pertes = 10 \log \left(\frac{dia_{\text{fibre}}}{dia_{\text{laser}}} \right)^2 \quad (II.15)$$

❖ Bande passante :

La rapidité à laquelle la source peut passer d'une absence d'émission à une émission maximale est donnée par le temps de monter (t_m). Le temps de descente (t_d) est la rapidité de passage d'un état d'émission maximale à l'état d'absence d'émission. Ces temps permettent de donner une indication sur la bande passante que ces sources pourront supporter.

❖ Durée de vie :

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

❖ Rendement quantique :

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

$$\eta_q = \frac{\text{Nombre de photons créés}}{\text{Nombre d'électrons injectés}} \quad (II.16)$$

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

II.3.2.1.3. Modulation :

Un modulateur est un dispositif capable de modifier les paramètres d'onde optique (Amplitude) en fonction du signal de commande. Deux méthodes sont utilisées pour moduler les ondes optiques ; la modulation directe et la modulation cohérente (externe).

a. Modulation directe :

Un des principaux avantages de l'utilisation des lasers à semi-conducteur pour les systèmes de télécommunications par fibres optiques réside dans le fait qu'il est possible de les moduler facilement. La modulation du courant d'injection agit directement sur la modulation en intensité de la lumière émise. Cette technique est appelée modulation directe.

La modulation directe est encore très utilisée si les données sont transmises à un débit de quelques gigabits/s, selon la qualité du laser. Mais au-delà de 5 Gbits/s, la modulation externe est indispensable pour maintenir une qualité de transmission correcte.

Cependant, les modulateurs ne sont pas parfaits et peuvent engendrer des défauts mais leur impact est moins important.

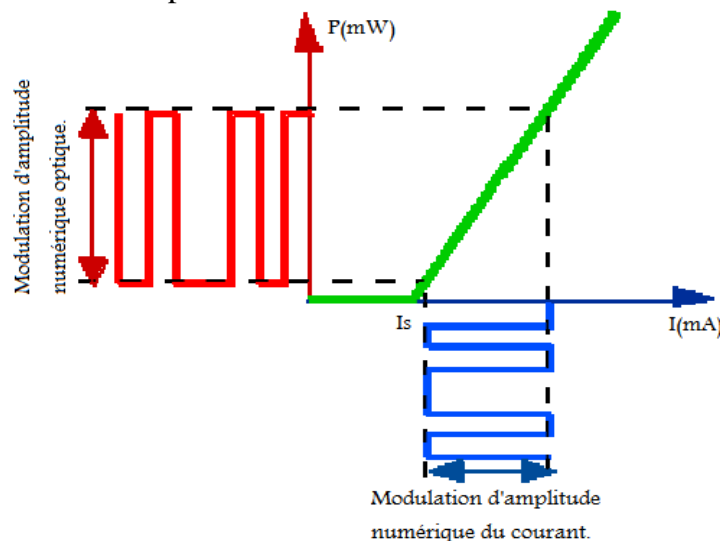


Figure II.18 : Modulation directe d'une diode laser.

b. Modulation externe :

Les conséquences de l'effet conjugué de la dispersion chromatique (effet chirp) et de la modulation de fréquence parasite excluent d'emblée la modulation directe des lasers pour les systèmes de transmission à grande capacité. On a alors recours à des modulateurs externes, en particulier des modulateurs à électro-absorption (voir annexe II). Le laser travaillant à courant d'injection constant, le signal émis n'est plus alors modulé en amplitude et par conséquent en fréquence.

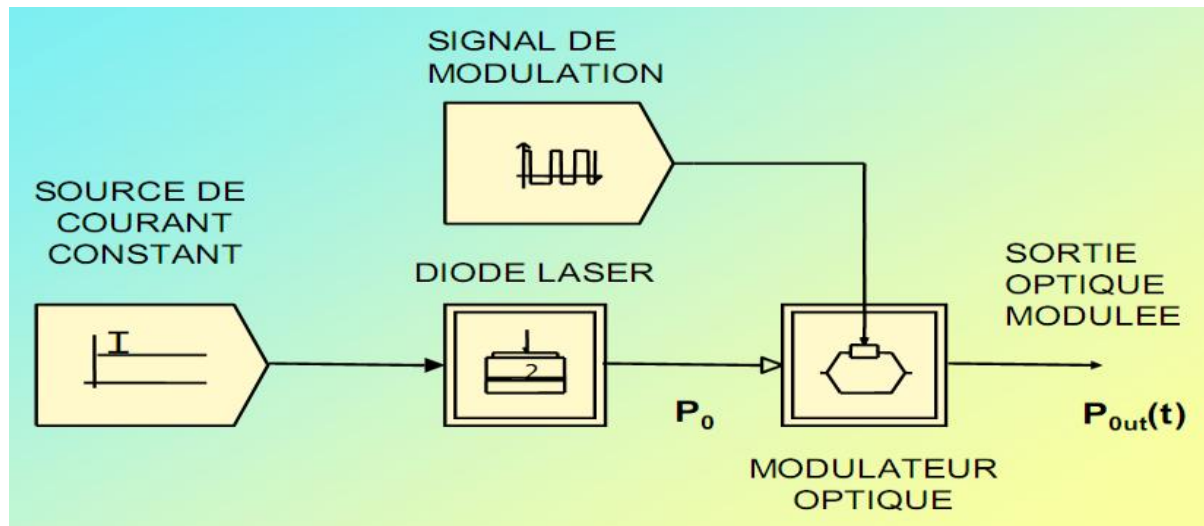


Figure II.19: principe de la modulation optique externe.

II.3.3. Module de réception :

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

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

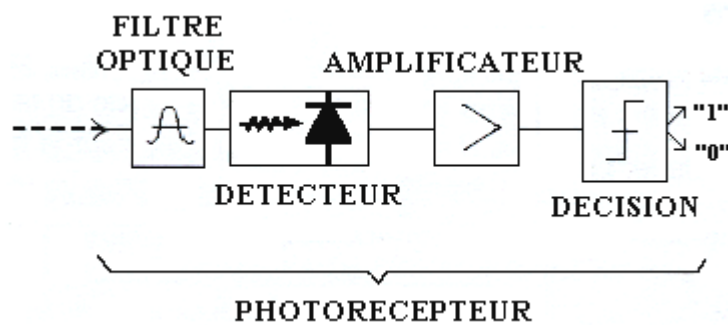


Figure II.20 : Synoptique du module de réception.

II.3.3.1. Conversion optique/électrique :

L'interface de réception dans une liaison à fibre optique est chargée de convertir le signal lumineux reçu (photon) en signal électrique par effet photoélectrique. Ce rôle est tenu par le photodétecteur qui se comporte comme un capteur de photons et un générateur de courant.

II.3.3.1.1. Principe du photodétecteur :

Les capteurs optiques sont des dispositifs qui permettent la conversion de l'information portée par la lumière (photons) en un signal électrique.

La modification des propriétés électriques du matériau est due à la libération des porteurs de charge sous l'influence d'un rayonnement lumineux constituant ainsi l'effet photoélectrique.

L'intensité d'un effet photoélectrique est proportionnelle au nombre de porteurs libérés par seconde.

Pour un matériau dont le coefficient de réflexion « r » qui se trouve soumis à un flux de rayonnement [11]:

- Le nombre n_i de photons incident par seconde est :

$$n_i = \frac{\Phi}{hf} = \frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (II.17)$$

- Le nombre n_a absorbé par seconde est :

$$n_a = (1-r)n_i = (1-r)\frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (II.18)$$

- Le nombre G d'électrons ou de trous libérés par seconde est :

$$G = \eta.n_a = \eta.(1-r)\frac{\lambda\Phi}{hc} \quad (II.19)$$

II.3.3.1.2. Les composants de réception :

La fonction des composants de réception optique, à l'inverse de celle des émetteurs, est de convertir le flux lumineux qui les atteint en énergie électrique. Les photodétecteurs les plus utilisées pour les applications à fibre optique sont : les photodiodes PIN et les photodiodes à avalanche PDA.

a. Les photodiodes PIN :

La photodiode PIN est une photodiode classique dans laquelle on a inséré entre les deux zones de porteurs, une région à forte résistivité (zone intrinsèque I) dont on appauvrit la quantité de porteurs libres en la faisant travailler sous tension.

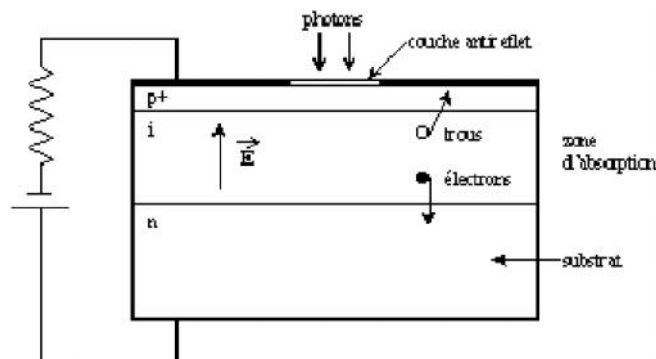


Figure II.21: Principe d'une photodiode PIN.

Lorsque la jonction est polarisée en inverse, la zone de déplétion augmente et les porteurs majoritaires sont incapable de la traverser : le seul courant (I_S) dit de seuil qui subsiste est du à la traversée des porteurs initialement minoritaires.

Pour avoir un bon rendement de la photodiode PIN, la zone de déplétion doit être suffisamment grande, mais la vitesse est ralentie par l'augmentation de cette taille [8].

a.1. Schéma de principe équivalent de la photodiode PIN :

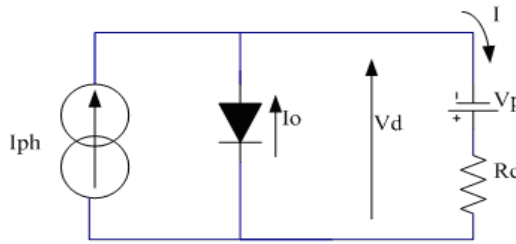


Figure II.22: Schéma électrique équivalent d'une photodiode PIN.

$$I = I_0 + I_{ph} \quad (II.120)$$

$$I_{ph} = S(\lambda) \cdot \phi_0 \quad (II.21)$$

D'une façon générale, le courant circulant dans la photodiode est la somme de courant d'obscurité et du photocourant. Le courant d'obscurité a des valeurs typiques inférieures à 1nA ; la résistance interne de la photodiode et de l'ordre de 10^{11} [11].

b. Les photodiodes à avalanche APD :

En appliquant à la photodiode une tension inverse inférieure à sa tension de claquage, on confère aux porteurs créés par effet photoélectrique une énergie suffisante pour qu'ils ionisent par choc inélastique des atomes de la zone de transition et créent de nouvelles paires électrons -trous qui à leur tour pourront reproduire le même processus .Il y a alors multiplication des porteurs et la photodiode devient le siège d'un phénomène d'avalanche qui est linéaire. En se sens, tout le courant d'origine photoélectrique est multiplié par un facteur M (gain) contrôlable par la tension inverse [7].

$$M = k \left(1 - \frac{V_r}{V_B} \right)^{-1} \quad (II.22)$$

$$I_{PDA} = M(V) \times S(\lambda) \times P_{opt} = .M(V) \times I_{ph} \quad (II.23)$$

avec :

K : étant une constante qui dépend de la réalisation de la photodiode.

V_B : La tension de claquage qui est comprise selon le type de la photodiode entre 100 et

200.

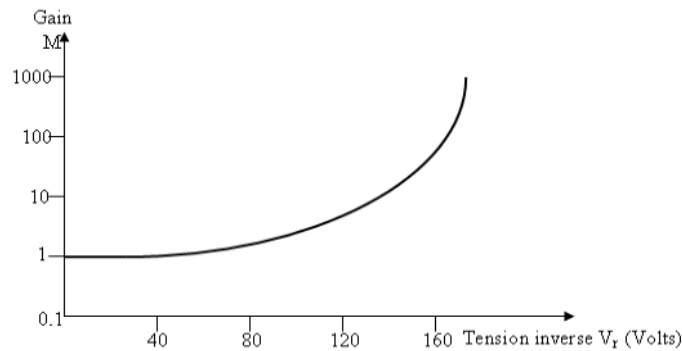
 V_r : La tension inverse.

Figure II.23 : Le gain d'une photodiode à avalanche en fonction de la tension inverse.

c. Caractéristiquement comparatifs des photodiodes PIN et PDA :

caractéristiques	PIN	APD
technologie	simple	Complexe
Mise en œuvre	simple	Délicate
Gain interne	non	Oui (gain d'avalanche)
Tension de polarisation	faible	Elevée
Courant d'obscurité	faible	Moyen
Facteur d'accès de bruit	non	Oui

Figure II.24 : Tableau comparatif des photodiodes PIN et PDA.

II.3.4. Amplification optique:

La distance de propagation d'un signal sur fibre optique est limitée par l'atténuation et la dispersion. Afin de réaliser des liaisons transparentes dans les liaisons à longue distance, on utilise des amplificateurs optiques qui remplacent les répéteurs régénérateurs du signal. Ces [amplificateurs](#) sont des dispositifs qui amplifient un signal lumineux sans avoir besoin de le convertir en signal électrique avant de l'amplifier avec les techniques classiques de l'électronique. Ils représentent certaines caractéristiques principales tel que : le gain, la bande passante optique, la puissance de saturation du gain et le bruit associé à l'amplification. Dans le domaine de la télécommunication par fibre optique il existe deux types d'amplificateurs qui sont : amplificateur à fibre optique dopé (à l'Erbium) et amplificateur à semi-conducteurs.

II.3.4.1. Les amplificateurs à fibre optique dopée à l'erbium (AFDE).

Un amplificateur optique à fibre amplifie la lumière grâce au mécanisme d'émission stimulée. Les éléments actifs sont plus couramment des ions d'Erbium. Si un photon interagit avec un électron dans l'état métastable, un effet quantique de résonance produit le retour de l'ion dans l'état fondamental et un photon est émis avec les mêmes

caractéristiques que le photon incident. À partir d'un photon on en obtient ainsi deux : c'est la base de l'amplification optique. Mais l'amplification l'emporte si les photons rencontrent plus d'ions dans l'état métastable que dans l'état fondamental. Cette condition est désignée par le terme « d'inversion de population » et est obtenue par l'opération de pompage par exemple à la longueur d'onde de 980 nm (la figure II.25.b).

Les photons de la pompe excitent les particules actives et les font passer de l'état fondamental à l'état supérieur. Ces dernières ayant une durée de vie très courte, les particules actives retombent très rapidement au niveau métastable.

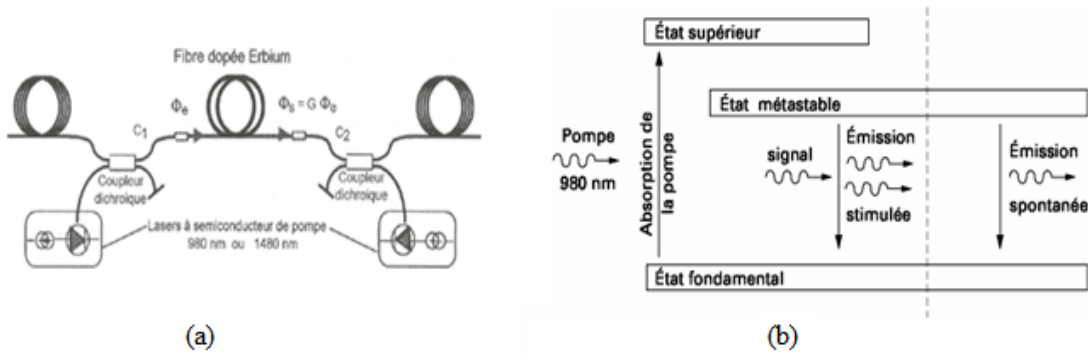


Figure II.25 : a) amplificateur optique à fibre dopée à l'erbium avec pompage optique. b) Principe d'amplification à fibre optique dopée par l'erbium.

II.3.4.2. Les amplificateurs à semi-conducteurs (AOSC):

L'amplification dans un amplificateur à semi-conducteur comme dans un amplificateur à fibre dopé, repose sur le phénomène d'émission stimulée. Le signal se propage dans un guide (semi-conducteur) qui présente un gain dû à une source extérieure (courant injecté) qui vient créer l'inversion de population. Les photons d'émission stimulée viennent s'ajouter au signal et l'amplifient, au même temps d'autres photons sont émis de manière non cohérente avec le signal : ils constituent l'émission spontanée [5].

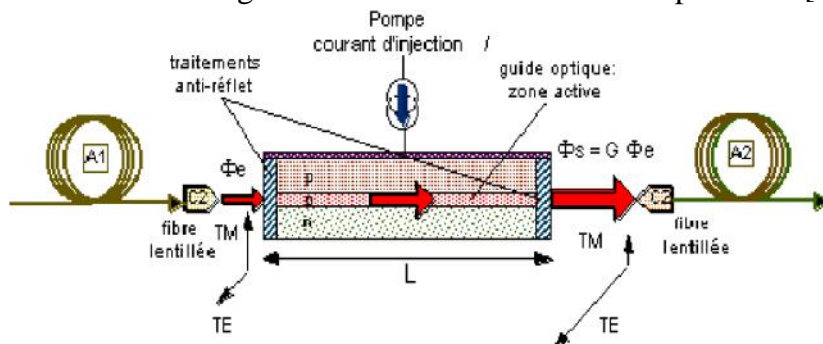


Figure II.26: Configuration de base d'un amplificateur optique à semi-conducteur.

II.3.4.2.1. Les caractéristiques des Amplificateurs Optiques à Semi-conducteur :

Un gain élevé (jusqu'à 30 dB) selon le semi-conducteur, la longueur d'onde, le courant injecté et la puissance du signal incident.

- Une puissance de saturation en sortie autour de 5 - 10 mW.
- Une bande passante optique importante de l'ordre de 5 THz (soit environ 40 nm autour de 1550 nm).
- Les non linéarités sont particulièrement importants dans les conditions de saturation du gain.
- C'est de loin le dispositif d'amplification le plus compact qui existe, avec un rendement (rapport gain à la consommation électrique) important.

Les pertes de couplage du faisceau incident dans l'amplificateur sont élevées, en raison de la supériorité du diamètre du faisceau sur l'épaisseur de la couche active du semi conducteur.

II.3.5. Les filtres optiques :

Le filtrage a pour but de limiter l'occupation spectrale d'un signal. La séparation spectrale est réalisée en réfléchissant une certaine gamme de longueurs d'onde et en transmettant les autres. On caractérise donc le filtre par sa bande passante, c'est-à-dire le domaine de fréquences (longueurs d'onde) pour lequel il laisse passer la lumière.

II.4. Conclusion :

Nous avons examiné successivement les différents constituants d'une liaison de transmission à fibre optique, l'émetteur, la fibre optique et le récepteur puis les amplificateurs optiques.

Le signal transmis dans ces différents éléments, décrit précédemment, est dégradé sous l'effet de plusieurs phénomènes :

- Le bruit du récepteur d'une part et celui apporté par les amplificateurs en ligne d'autre part.
- Les défauts de propagation qui peuvent être ; dispersion chromatique, dispersion modale de polarisation.

III.1. Introduction :

Le réseau de transmission numérique était basé sur l'utilisation de la hiérarchie numérique dite physiochrone. Cette technique a montrée aux files des ans quelques inconvénients. En effet, l'évolution des débits des différents services, les besoins de flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitations-maintenance, l'augmentation de la capacité de transmission sur fibre optique et la nécessité d'interconnexion entre les opérateurs à des débits élevés et normalisés, ont montrés les limitations de la hiérarchie PDH et ont conduit à la normalisation de la hiérarchie numérique synchrone SDH.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les principes de base de la technique du réseau SDH et les différents équipements qui la constituent.

III.2. Comparaison entre la PDH et la SDH :

La SDH possède quelques caractéristiques par rapport à la PDH à savoir :

- Tous les équipements SDH sont pilotés par le même signal d'horloge, il y à donc quelque part une horloge atomique qui donne le rythme pour tout le pays. Il est transmis de proche en proche à tous les équipements de transmission SDH du pays. C'est pour cette raison que ce mode de transmission est appelé synchrone.

Les multiplexeurs d'ordre N permettent de multiplexer des affluents de n'importe quel ordre inférieur, à l'opposé de la PDH qui ne multiplexe que des flux d'ordre immédiatement inférieur à N. Il est donc possible de retrouver n'importe quel flux d'ordre N- 1 ou N-2 ou N-i, à la sortie d'un démultiplexeur SDH d'ordre N sans passer par tous les niveaux intermédiaires de démultiplexage. Cette propriété rend possible la conception d'équipements pour injecter ou extraire des affluents de n'importe quel ordre inférieur sur un point intermédiaire du parcours de la transmission.

- La SDH admet comme affluents aussi bien des flux physiochrones que des flux synchrones, c'est-à-dire rythmés par l'horloge unique du pays. Parmi les affluents physiochrones, la SDH admet aussi bien les affluents de la PDH Européenne (Type E) que les affluents de la PDH Américaine (Type T) ou ATM.

La structure des trames PDH ne comporte qu'un nombre réduit de bits alloués à l'exploitation 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 pour fonctionner sur fibre optique, des hauts débits et des capacités significatives (surdébits) plus élevés pour la gestion du réseau.

Les concepts de la SDH répondent à un certain nombre d'objectifs qui sont la flexibilité, la visibilité, la facilité d'exploitation.

III.3. Définition de la SDH :

La SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est une technologie de transmission synchrone sur fibre optique qui offre de nombreux avantages en termes de débit, de fiabilité (insensibilité aux intempéries et aux ondes radio), de sécurisation et de supervision à distance du réseau. La SDH est issue des concepts SONET proposé par BELLCORE (BELL Communication Research). Les premières normes SDH ont été approuvées par le CCITT (Comité Consultatif International du Téléphone et Télégraphe) à MELBOURNE en Novembre 1988 (G707, G708, G709). Elles définissent les débits, la trame et les procédés de multiplexage.

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

La SDH se situe sur les couches 1 et 2 du modèle [OSI](#) (voir annexe II). Cette technologie offre la possibilité de transmettre dans une même trame des services de types et de débits différents.

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

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

III.4. Principe de fonctionnement de la SDH :

III.4.1. Constitution des trames SDH :

La structure des trames dans un réseau plesiochrone PDH ne comporte qu'un nombre réduit de bits alloués à l'exploitation et ne permettent pas la gestion du réseau. Par contre, la technologie SDH, ayant été conçue pour fonctionner sur fibre optique dispose de débits de transport considérables permettant de réserver une capacité significative pour la gestion du réseau. SDH inclut l'exploitation, la gestion, la maintenance et la mise en service. Elle est effectuée par le surdébit transporté dans les trames. Chaque couche d'un réseau SDH (niveau d'encapsulation) dispose de moyens propres de gestion. Certaines données dites de bourrage sont incluses juste pour la synchronisation.

III.4.2. Structure de la trame de base STM-1 :

La trame de base, appelée STM-1 (Synchronous Transport Module 1) est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes:

- **Taille :**

Elle est de 2430 octets organisés en 9 rangées et 270 colonnes, les 9 premiers octets constituent la zone de supervision de la SDH qui contient des informations sur la gestion du réseau et les 261 octets suivants représentent la zone d'informations à transmettre.

- **Durée :**

Qui est de 125 μ sec (synchronisation sur le 8 kHz, contrainte vocale) et qui correspond donc à un débit de 155 Mbit/s.

La trame contient des zones d'évolues aux informations suivantes :

- **La capacité utile :** Qui est l'information utile.

- **Le surdébit de section (SOH : Section Over Head) :**

Il est réservé à l'exploitation. Le SOH et le pointeur occupent les 9 premières colonnes de chaque trame, soit 81 octets (il reste donc 150,34 Mbit/s pour la partie utile).

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

- **Les pointeurs (PTR) :**

C'est le pointeur de l'unité administrative qui indique la position effective du début de la charge utile dans la trame. La figure III.1 représente la trame de base STM-1.

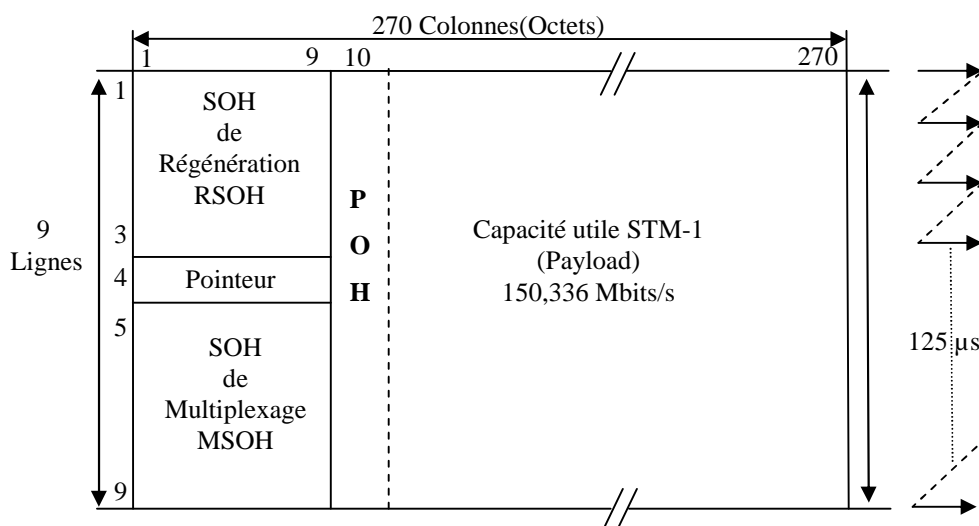


Figure III.1 : Structure de la trame de base STM-1.

a. RSOH (Régénération Section Over Head):

Il est utilisé pour dialoguer avec/entre les régénérateurs, il permet la gestion de la couche de section de régénération. Il est composé des rangés 1 à 3 du SOH, soit un débit de 1,728 Mbits/s.

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

Figure III.2 : Représentation des octets du RSOH.

- A1, A2 : Cette ressource de deux octets est allouée au mot de verrouillage de la trame, elle est caractérisée par une configuration particulière qui est la suivante :

A1=11110110

A2=00101000

- J0/C1 : Joue le rôle d'identificateur de la trace de la section de régénération, son décodage en réception permet de vérifier si la connexion est maintenue avec l'extrémité émission de la section de régénération ainsi identifiée.

-B1 : Surveillance du taux d'erreur sur les bits de la section de régénération.

-E1 : Cette ressource offre une voie de service vocal qui peut être utilisé par l'opérateur à des fins de maintenance de la section de régénération.

-F1 : Il constitue une voie de service ou de données pour l'utilisateur et l'exploitation du réseau.

-D1, D2, D3 : Canaux de communication de [données](#) associés à la section de régénération, il est constitué de trois octets défilant à la période trame soit 125µs ce qui représente un débit de 192Kbit/s (3x64kbit/s), pour la section de régénération.

-X : Octet réservé pour la normalisation internationale.

NU : Octet réservé pour l'utilisation nationale.

b. MSOH (Multiplex Section Over Head):

Il est utilisé pour dialoguer avec/entre les multiplexeurs, il permet la gestion de la couche de section de multiplexage. Il est constitué des rangés 5 à 9 du SOH, soit un débit de 2,88 Mbits/s.

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

Figure III.3 : Représentation des octets du MSOH.

dans la capacité utile du STM 1. Il est donc impossible de désigner tous les octets. La solution consiste à grouper les octets par 3 et à attribuer un numéro à chaque groupe de 3 octets, ce qui donne $2349 : 3 = 783$ groupes numérotés de 0 à 782. En fait, pour le VC, le pointeur désigne donc le premier groupe de 3 octets. La justification d'octets du VC se porte par conséquent sur 3 octets à la fois :

- 3 octets H3 pour la justification négative.
- 3 octets 0 pour la justification positive.

Les octets « H1 » et « H2 » (16 bits) sont réservés à l'emplacement de la valeur du pointeur qui est contenu entre les bits 6 et 16 qui sont représentés par la figure III.5.

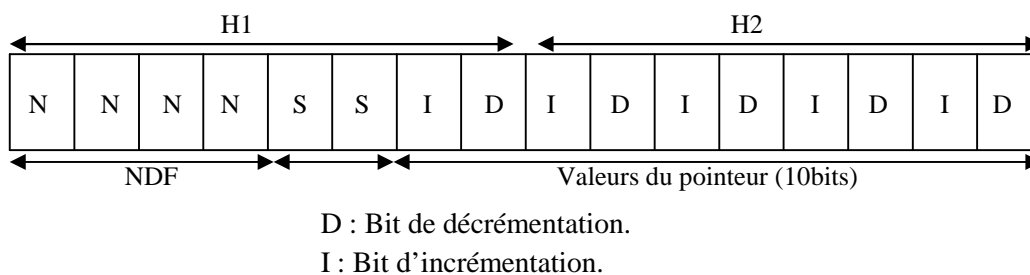


Figure III.5 : Représentations des bits (H1 et H2) du pointeur.

Les 4 premiers bits (N) représentent l'indicateur de nouvelles données (NDF : New Data Flag). Ce fanion prend deux configurations possibles (cas invalide hors de ces deux combinaisons) :

- 0110 : Indicateur de nouvelle donnée inactif.
- 1001 : Indicateur de nouvelle donnée actif.

Les bits « SS » ne sont pas spécifiés.

c.2. processus de justification :

Le débit du signal entrant varie positivement ou négativement par rapport au débit fixe de la trame de transport, c'est pour cela que l'on utilise une opération qui permet de transporter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe. Cette opération s'appelle « Justification ». On parle de Justification positive, nulle ou négative.

1. justification négative :

Le pointeur est en quelque sorte un compteur dynamique d'ont la valeur s'incrémente ou se décrémente au rythme des mouvements du VC au sein de la trame et accompagne donc le processus de justification d'octet. A côté de l'octet H₂, une ressource de 3 octets nommés H₃ a été prévue pour absorber un éventuel surplus d'information dans les situations où le débit de VC est supérieur à celui de la trame. On est donc dans un cas de justification négative où H₃ est transformé en octets d'information.

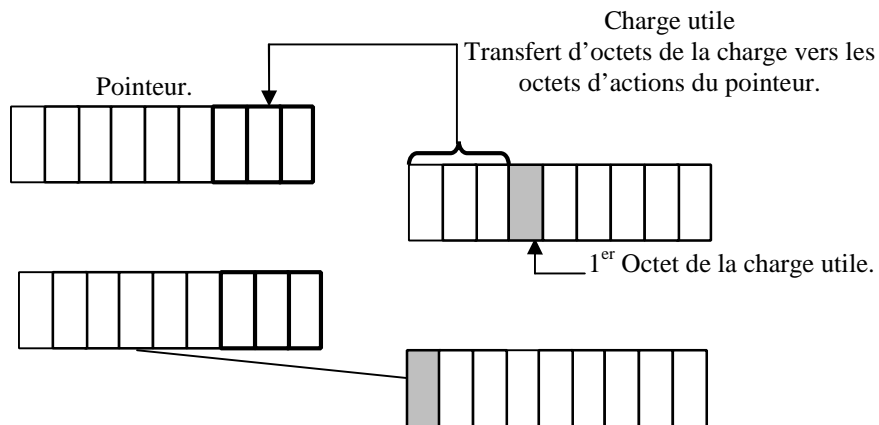


Figure III.6 : Processus de justification négative.

2. Justification positive :

Si la trame est en avance de phase par rapport à la charge utile, une justification positive est donc nécessaire. Ainsi, les octets d'action de pointeur compensent ce retard, afin d'aligner les débits comme il est présenté sur la figure III.7.

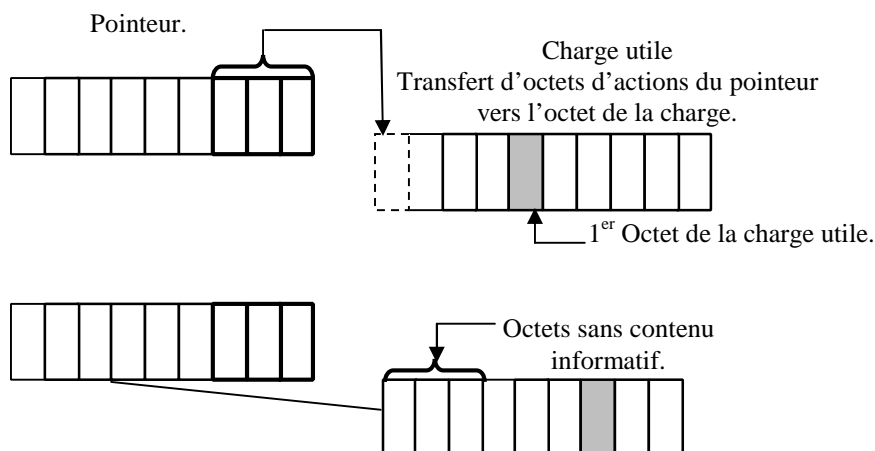


Figure III.7 : Processus de justification positive.

3. justification nulle :

Dans le cas où la trame et la charge utile sont en phase, aucune justification indiquée au niveau du pointeur.

d. POH (Path Over Heads):

Le surdébit POH permet la gestion des voies de communication entre les différents éléments du réseau en traçant le chemin que doivent emprunter les données pour arriver à leur destination. Ce surdébit contient les informations sur le conteneur liées à la surveillance de la qualité des signaux d'alarme et de maintenance à distance, à la

qualité du signal transporté et à la structure du multiplexage. L'existence de deux ordres de VC (VCL et VCH) entraîne l'existence de deux ordre de conduit : LOP (Low Order Path) et HOP (High Order Path).

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

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

Signification des bits de POH de VC-n :

J1 : Identification de la trace du conduit. Le décodage de cet octet en réception permet de vérifier si la connexion est maintenue avec l'extrémité émission du conduit ainsi identifiée.

B2 : Surveillance du taux d'erreur du conduit.

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

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

F2 et F3 : Chacun de ces octets constitue une voie de service de 64kbit/s attribuées pour les besoins de communication de l'utilisateur.

H4 : Il indique s'il y a des multitrames dans la charge utile du VC-4, c'est-à-dire si la charge utile VC-4 est remplie de conteneurs virtuels d'ordre inférieur (VC-11, VC-12, VC-2) qui sont organisés chacun en multitrames de quatre trames.

K3 : Protection de conduit (APS) et gestion de la sécurisation du réseau (demande de secours, adresse, indication d'un canal de secours).

N1 : Est affecté à la surveillance de connexion en cascade de VC d'ordre supérieur.

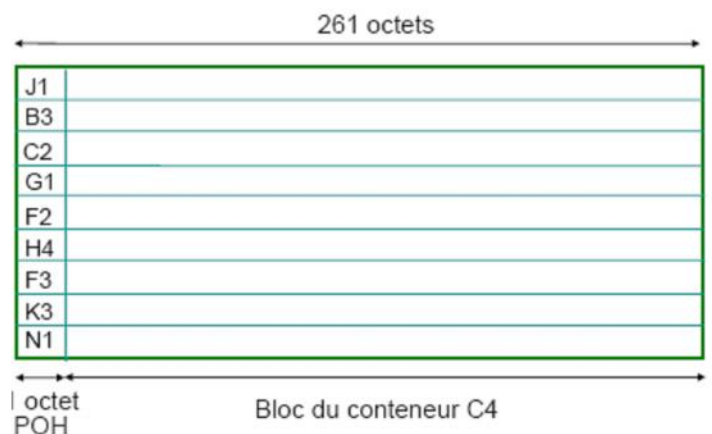


Figure III.8 : Le surdébit du conduit supérieur.

d.2. Le sur débit du conduit inférieur (VC-m) :

Le POH de ces VC-m sont tous constitués de 4 octets, à savoir V5, J2, N2 et K4. La figure III.9 représente une illustration pour le cas de VC-12.

V5
J2
N2
K4

Figure III.9 : Le surdébit du conduit inférieur.

Signification des bits de POH de VC-m :

V5 :

- bit 1,2 : surveillance de la qualité de service ;
- bit 3 : renvoie à la source du conduit VC12 le résultat de la qualité reçue ;
- bit 4 : trace du conduit ;
- bit 5, 6, 7 : structure de la charge utile transportée ;
- bit 8 : indication d'alarme distante ;

J2 : trace du conduit VC-12 ;

N2: réservé à l'opérateur ;

K4 : protection APS du conduit.

III.4.3. 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).

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

Tableau III.1 : Répertoire des débits de la hiérarchie SDH/SONET.

Lors du multiplexage SDH, les données sont encapsulés dans des blocs qui seront multiplexés pour donner des blocs de plus en plus gros jusqu'à obtenir une 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.

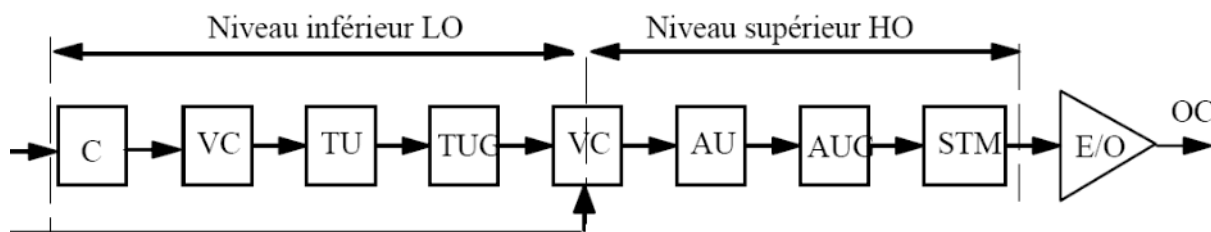


Figure III.10 : Les niveaux du multiplexage SDH.

III.4.3.1. Les entités traitées par le réseau SDH :

a. La notion de CONTENEUR (C-n) :

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

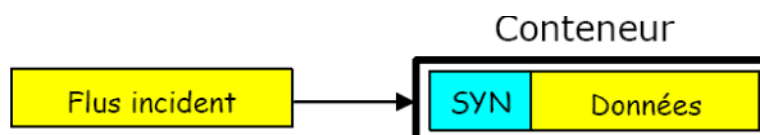


Figure III.11 : construction d'un Conteneur.

Les conteneurs retenus dans les normes européenne et américaine sont illustrés dans le tableau III.2.

Norme européenne		Norme américaine	
Affluents	conteneur	Affluents	conteneur
2 Mbits/s	C-12	1,5 Mbits/s	C-11
34 Mbits/s	C-3	6 Mbits/s	C-2
140 Mbits/s	C-4	45 Mbits/s	C-3

Tableau III.2 : Représentation des conteneurs de la hiérarchie européenne et américaine.

b. Conteneur Virtuel (VC-n) :

Le conteneur sera transporté à travers le réseau SDH en suivant un chemin entre le point d'entrée et le point de sortie. Une des propriétés essentielle de la SDH est de pouvoir gérer ce conteneur et son chemin à travers le réseau indépendamment de son contenu. A cette fin, des bits de gestion appelés POH sont ajoutés au conteneur, l'ensemble constitue ce qu'on appelle un conteneur virtuel VC (Virtual Container).



Figure III.12 : Construction d'un Conteneur Virtuel

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

Affluents	Conteneurs	Surdébit de conduit			Conteneurs virtuels
1,5 Mbits/s	C-11	+	POH	=	VC-11
2 Mbits/s	C-12	+	POH	=	VC-12
6 Mbits/s	C-2	+	POH	=	VC-2
34 Mbits/s	C-3	+	POH	=	VC-3
45 Mbits/s	C-3	+	POH	=	VC-3
140 Mbits/s	C-4	+	POH	=	VC-4

Tableau III.3 : Les conteneurs virtuels.

Dans le multiplexage SDH il y a deux niveaux de VC : le Low Order VC (ordre inférieur) : LO-VC et le High Order VC (ordre supérieur) : HO-VC.

Affluent	Conteneur virtuel d'ordre inférieur VC-m.	Conteneur virtuel d'ordre inférieur VC-n.
1,5 Mbits/s	VC-11	
2 Mbits/s	VC-12	
6 Mbits/s	VC-2	
34 Mbits/s	VC-3	
45 Mbits/s		VC-3
140 Mbits/s		VC-4

Tableau III.4 : Répartition entre VC-m et VC-n.

c. Tributary Unit (TU) :

Pour pouvoir localiser un VC dans une trame SDH sans que celui-ci soit placé toujours à la même position, on utilise un pointeur qui indique l'adresse relative du VC par rapport au début de trame. Le pointeur plus le VC constitue ce qu'on appelle une Tributary Unit (TU). Cette entité concerne seulement les VC d'ordre inférieur (VC - m).

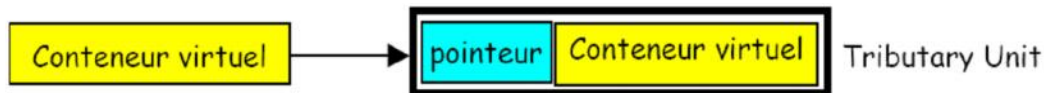


Figure III.13 : Construction de la tributary unit.

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

Le groupe d'unité d'affluent n'est pas une nouvelle entité physique mais représente une structure virtuelle de la trame reflétant le multiplexage des TU-m.

Cela permet de regrouper des TU pour les assembler en une entité (bloc) de dimension supérieure. Le TUG peut être considéré comme les règles de rangement des TU dans la trame de transport. Par exemple :

- Le TUG 2 regroupe soit 3 TU12, soit 1 TU2.
- Le TUG 3 assemble 7 TUG 2, ou 1 TU3.

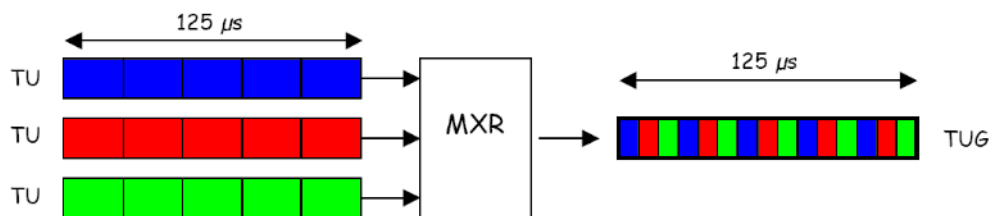


Figure III.14 : Constitution d'une TUG-2 à partir de 3 TU-12.

e. L'unité Administrative AU (Administrative unit) :

Dans le niveau supérieur HO, les Unités administratives sont l'équivalent des Tributary Units dans le niveau inférieur LO. Ici aussi, les VC-HO flottent dans les AU, d'où la nécessité de pointeurs pour localiser les VC dans les AU. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC.

f. Le Groupe d'Unité Administrative : AUG (Administrative unit Group) :

Le groupe d'unité administrative est une structure virtuelle représentant l'information ou charge utile de la trame de transport d'ordre 1 (STM-1).

- L'AUG est l'élément de base permettant de réaliser l'ensemble des trames de transport de la hiérarchie numérique synchrone.
- L'AUG est constitué d'un AU4 ou de 3 AU3 selon la norme utilisée.

III.4.3.2. Formation de la trame de base (STM-1) à partir d'un E₁ (C-12):

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

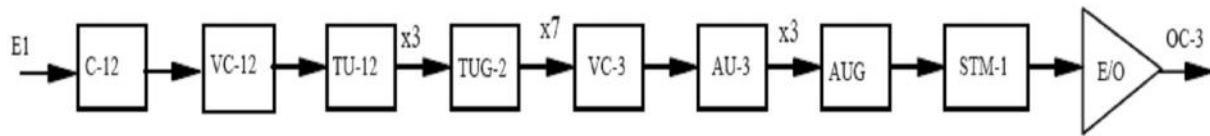


Figure III.15 : formation d'une trame STM-1 à partir d'affluents E₁.

a. Constitution du conteneur C-12 :

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

Sur la figure III.16 On a :

R : bit de Remplissage ;

D : bit de donnée (charge utile) ;

C1 C2 : bits de contrôle de justification ;

S1, S2 : bits de justification ;

O : bit de service.

Le contrôle de justification se fait comme suit :

► Il y a 3 bits C1 dans une multitrame de Conteneurs :

- Si C1 C1 C1 = 000 alors S1 est un bit de donnée ;
- Si C1 C1 C1 = 111 alors S1 est un bit de bourrage.

► Il y a 3 bits C2 dans une multitrame :

- Si C2 C2 C2 = 000 alors S2 est un bit de donnée
- Si C2 C2 C2 = 111 alors S2 est un bit de bourrage

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

b. Constitution du conteneur virtuel VC-12 :

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

c. Constitution de la tributary unit TU-12 :

La Tributary Unit TU-12 est obtenue en ajoutant un pointeur au VC-12. Là aussi, l'obligation de disposer de 4 pointeurs a mené à regrouper les TU-12 en multitrames de 4.

Les pointeurs sont notés V1, V2, V3 et V4. Ces pointeurs, comme nous l'avons déjà noté, permettent de localiser le début du VC par rapport au début de la TU.

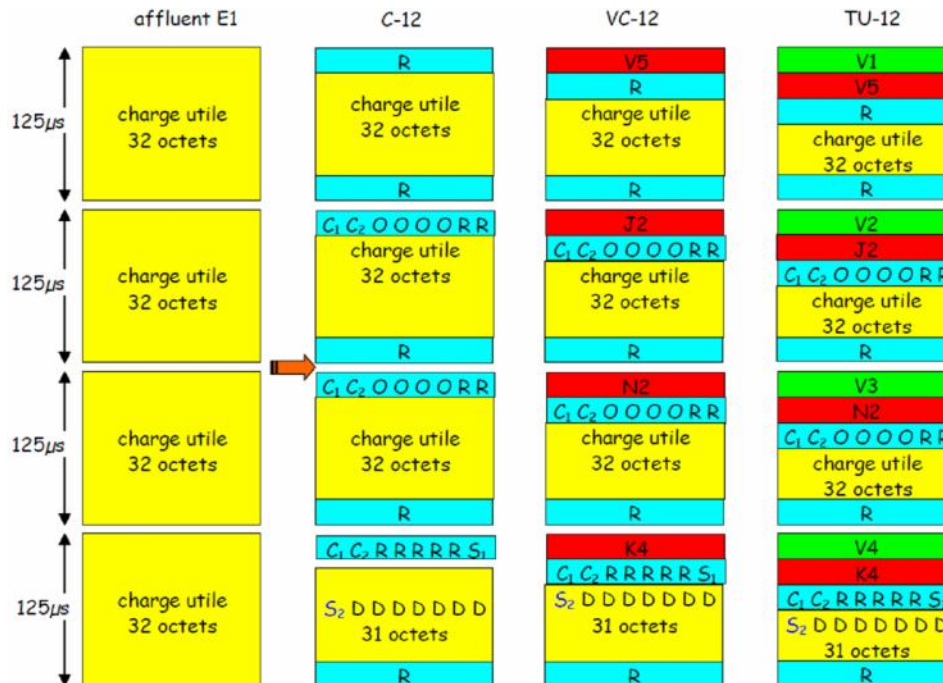


Figure III.16 : Constitution de la Tributary Unit TU-12.

c.1. Organisation matricielle des Tributary Units :

Pour faciliter la gestion des Tributary Units, on les représente en matrices de 9 lignes, le nombre de colonnes dépend de la capacité de la TU, il y en a quatre pour le cas de TU-12. Cela vient du fait que la trame de base de la SDH (STM-1) est elle-même représentée sur 9 lignes. Un avantage important de cette représentation, outre la compacité du dessin, est de pouvoir montrer et repérer aisément les octets de données et ceux de service. La transmission se fait ligne après ligne.

f. L'unité administrative AU-3 :

L'unité administrative AU-3 reçoit un Virtual container VC-3 dans un espace de 9 lignes et 87 colonnes. Comme le VC-3 ne comporte que 85 colonnes, les colonnes 30 et 59 de AU-3 sont remplies par des octets de bourrage. Comme le VC-3 flotte dans l'AU-3, on utilise 3 octets de pointage H1, H2 et H3 pour indiquer sa position dans l'AU-3. Ces 3 octets sont placés à la 4ème ligne.

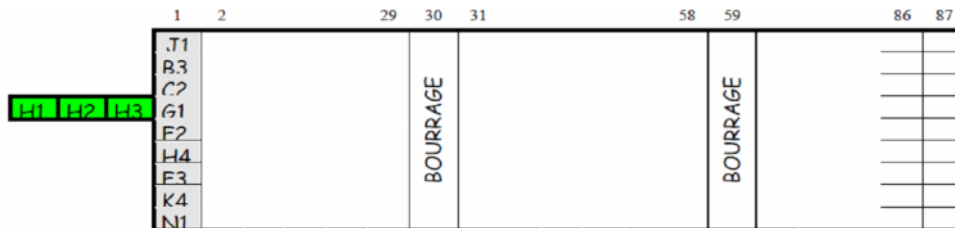


Figure III.20: L'unité administrative AU-3.

g. Le groupe d'unité administrative AUG :

Le groupe AUG reçoit Trois AU-3 multiplexées octet par octets.

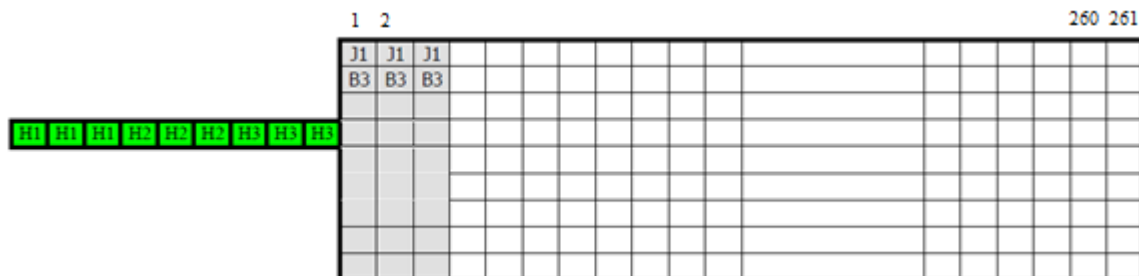


Figure III.21 : Groupe d'unité administrative AUG.

h. La trame STM-1 :

Après avoir obtenu le groupe d'unité administrative (AUG), on est à l'étape finale de la constitution de la rame de base (STM-1). Il s'agit d'ajouter un surdébit de section (SOH), qui permet de définir les canaux de communication de donnée pour acheminer les informations de gestion du réseau.

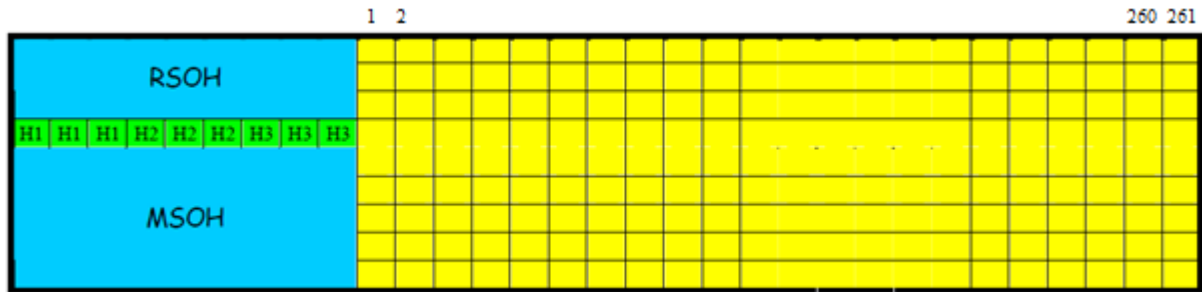


Figure III.22 : La trame de base (STM-1).

III.4.3.3. Formation de la trame STM-n :

Les trames de transport STM-n sont obtenues en multiplexant n AUG (et non n STM-1) et en rajoutant un surdébit de Section SOH. La trame de Base STM-1 (155,520Mbit/s) contient 1 AUG et son SOH, la trame STM-4 (622,080Mbit/s) contient 4 AUG et son SOH, la trame STM-16 (2488,320Mbit/s) contient 16 AUG et son SOH.

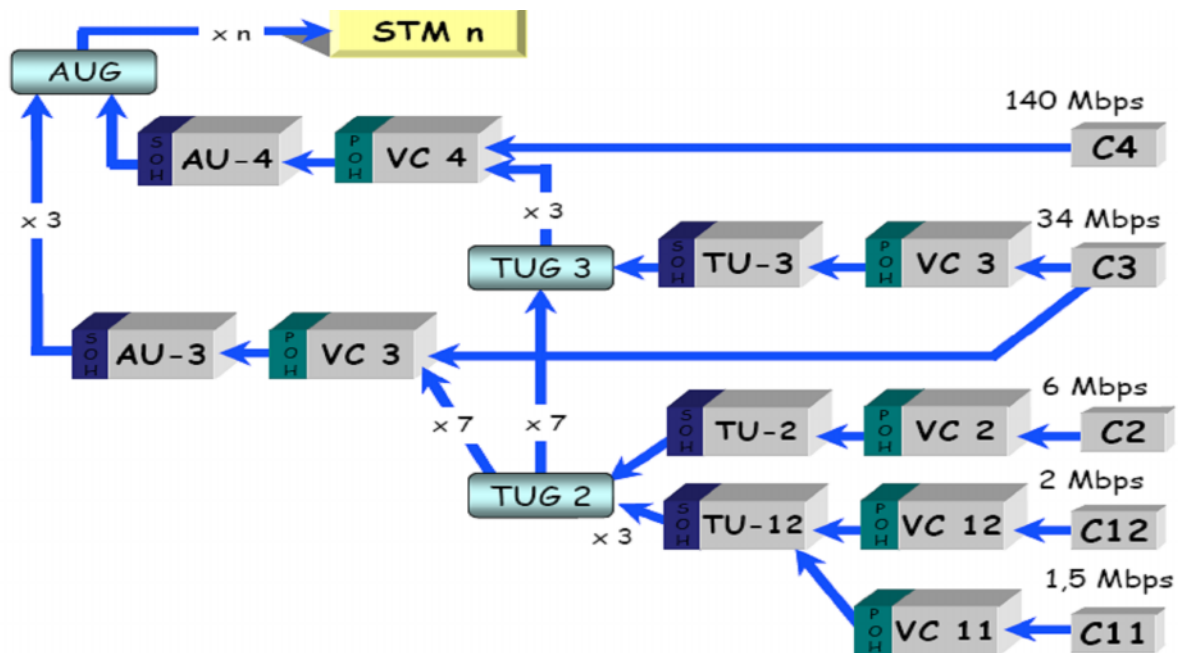


Figure III.23: Structure du multiplexage synchrone pour la formation de l'STM-n.

III.5. Etude du réseau SDH :

La figure III.24 représente une illustration de la mise en réseau des différents équipements SDH que nous allons décrire par la suite.

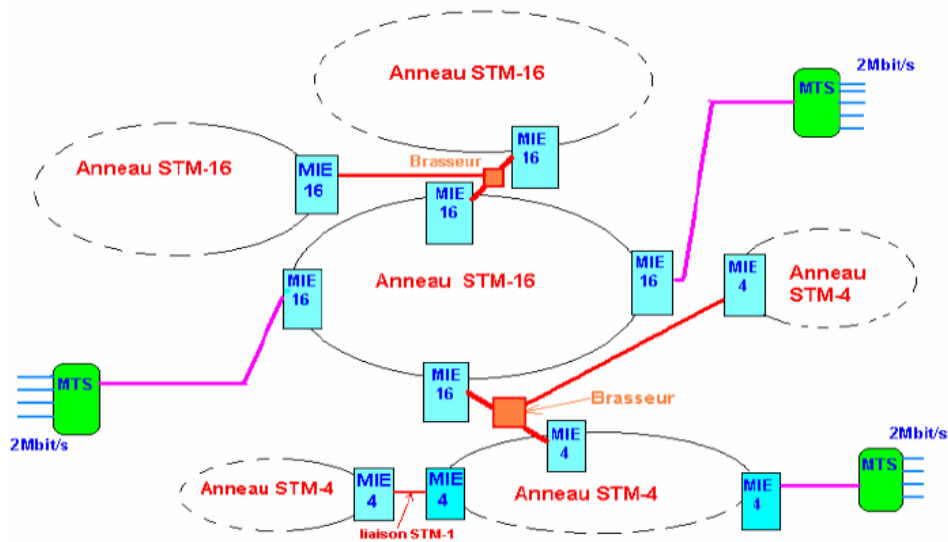


Figure III.24 : Infrastructure du réseau SDH.

III.5.1. Les équipements du réseau SDH :

Un réseau SDH est constitué d'éléments réseau NE (Network Element), qui peuvent être un ADM, TM, DXC...et chaque élément réseau est doté d'une interface optique appelée NNI (Network Node Interface). La figure III.25 schématise un réseau SDH en anneau, composé de plusieurs éléments réseau.

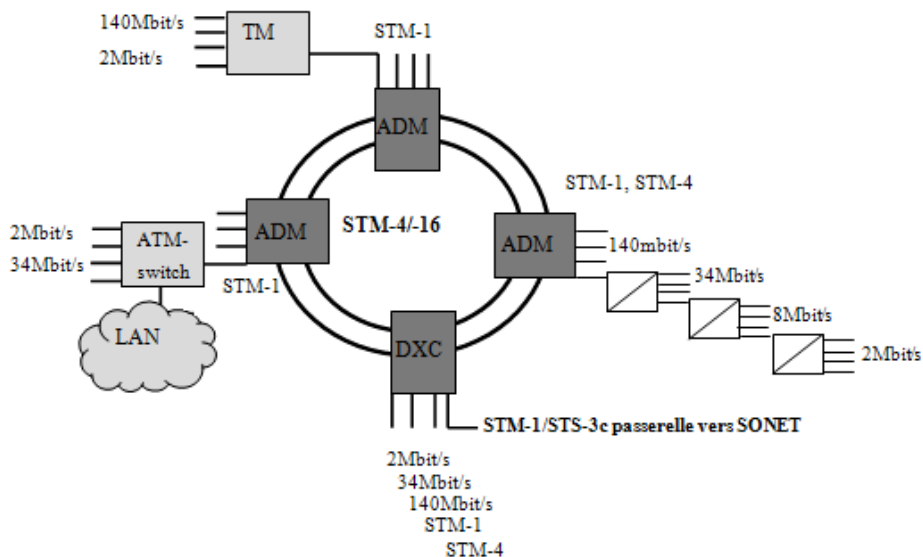


Figure III.25 : Structure d'un réseau SDH.

Un réseau SDH doit être capable de transmettre des signaux plesiochrones et doit en même temps adopter les signaux des nouvelles technologies telles que le transport

des cellules ATM et les paquets IP. Pour cela, il est nécessaire d'utiliser les différents éléments réseau suivants :

III.5.1.1. Les multiplexeurs SDH:

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. Il existe deux types de multiplexeurs:

a. Multiplexeur d'Insertion/Extraction (MIE) :

Ces équipements appelés ADM (Add Drop Multiplexer) ou MIE (Multiplexeur à insertion /extraction) permettent d'insérer et d'extraire le long d'un circuit haut débit STM-n des signaux de niveaux bas débit (2 à 155 Mbit/s).

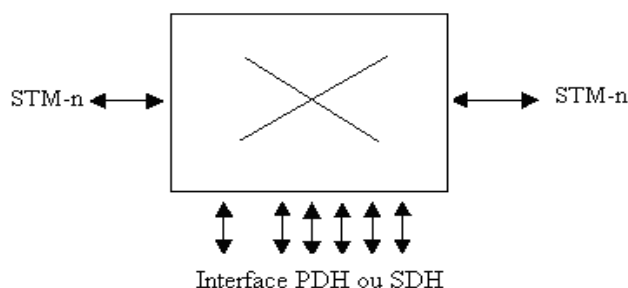


Figure III.26 : Multiplexeur d'Insertion/Extraction (MIE).

La matrice permet de réaliser des connexions sur les conduits. Ces équipements se trouvent dans des architectures en ligne ou en anneaux.

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 qu'on utilise des MTS.

b. Multiplexeur Terminal Simplifié (MTS):

Le multiplexeur terminal simplifié (MTS) permet le multiplexage de N signaux d'affluents PDH pour former une trame STM-1 ou N signaux SDH pour former une trame STM-4 ou STM-16. Il permet de réaliser des réseaux linéaires. Dès lors, on 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. La première configuration est utilisée pour une boucle optique STM-1 avec deux sites différents. La seconde solution est la plus employée au sein du réseau des Opérateurs car l'avantage du MTS est son nombre important d'entrée/sortie d'affluent 2Mbit/s venant le plus souvent de la commutation pour relier les autocommutateurs publics entre eux et de servir des baies d'abonnées distantes de l'autocommutateur où l'anneau optique ne passe pas. Ceci correspond à une architecture comme celle-ci :

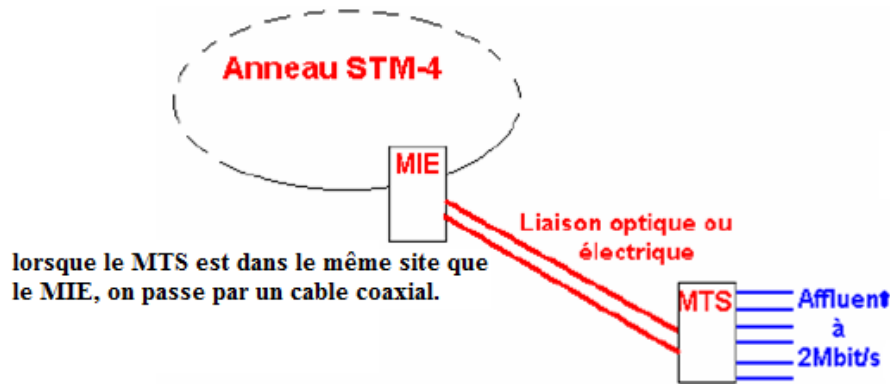


Figure III.27 : Multiplexeur Terminal Simplifié.

III.5.1.2. Les brasseurs (DXC ; Digital Cross-Connect) :

Il s'agit des organes le plus complexes du réseau. Un commutateur DXC peut jouer le rôle d'un ADM. Il permet d'insérer des signaux PDH dans des conteneurs virtuels ainsi que la commutation des conteneurs. En général, il est utilisé pour interconnecter plusieurs ADM entre eux.

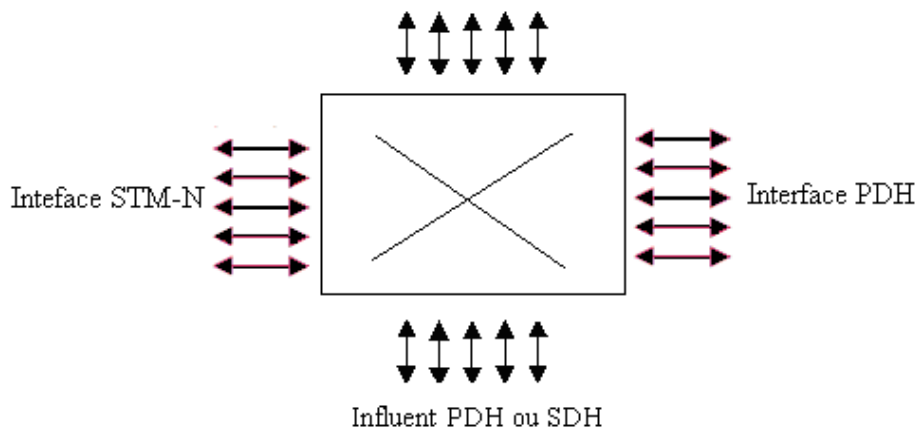


Figure III.28 : Le brasseur.

III.5.1.3. Les régénérateurs :

Ils régénèrent le signal optique. Ces équipements permettent d'augmenter la distance entre deux sites d'extraction. Il ne s'agit pas d'une régénération analogique : Le RSOH est extrait, analysé puis un nouveau RSOH est inséré, le reste de la trame n'est pas modifié. Les bits sont remis en forme, réamplifiés et resynchronisés. Les seuls changements sont aux niveaux de:

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

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

III.5.2. Topologie des Réseaux SDH :

Les réseaux SDH sont généralement construits suivant une topologie hiérarchique d'anneaux (figure III.29) en utilisant, le plus souvent des liens bidirectionnels. Tous les liens d'un anneau doivent offrir la même puissance de transmission STM-N. Ces liens sont en général des fibres optiques.

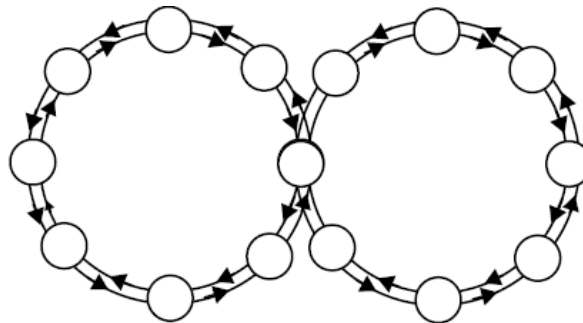


Figure III.29 : Réseau d'anneaux interconnectés.

La puissance de transmission d'un anneau SDH est en principe limitée à 10 Gbits/s (liaison STM-64). Cependant, des réseaux backbone peuvent être amenés à proposer une puissance de transmission bien supérieure à STM-64 qui est la puissance limite de la technologie optique employée.

a. Architecture en anneau monofibre

Cette architecture dite aussi en anneau unidirectionnel présente l'inconvénient que le temps de transmission entre deux nœuds est différent selon le sens du flux. Le temps de transmission de B à A est supérieur au temps de transmission de A à B. Comme les trames transmises contiennent des informations concernant les trames reçues (qualité de transport par exemple).

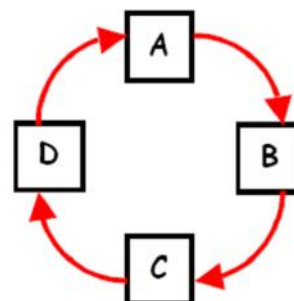


Figure III.30 : Anneau unidirectionnel.

b. Architecture en anneau bidirectionnel :

Elle est constituée d'une paire de fibre, chaque fibre transporte le trafic dans un sens. Elle permet aussi une meilleure gestion des trafics sur les différents tronçons du réseau.

Chaque nœud reçoit un flux de données, il extrait le trafic qui lui est réservé et l'achemine vers l'extérieur de l'anneau et relaie le reste du flux vers le nœud suivant. Ainsi, on peut aisément vérifier sur l'anneau de Figure III-31 que le trafic est réparti de sorte que le flux transporté par chaque tronçon est égal à la somme des flux des 3 paires de nœuds. Par exemple le tronçon A B transporte le flux A B mais aussi les flux E B et A C.

Si ce tronçon a atteint son débit max alors que « A » a besoin d'un débit plus important vers « C », on peut alors essayer (dans la mesure du possible) d'acheminer l'excédent du flux A C sur l'autre fibre à travers les nœuds « E » et « D ». Il faut tout de même remarquer que ces deux flux n'auront pas les mêmes délais, alors, il faut prendre les précautions nécessaires suivant la situation. Le conduit le plus court est dit conduit mineur, l'autre est désigné par conduit majeur.

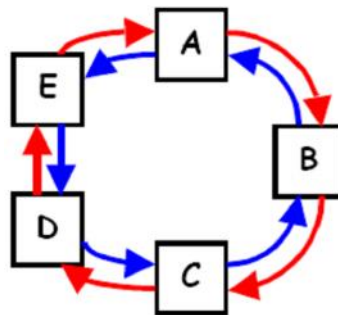


Figure III.31: Anneau bidirectionnel.

III.5.3. Protection du réseau SDH :

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

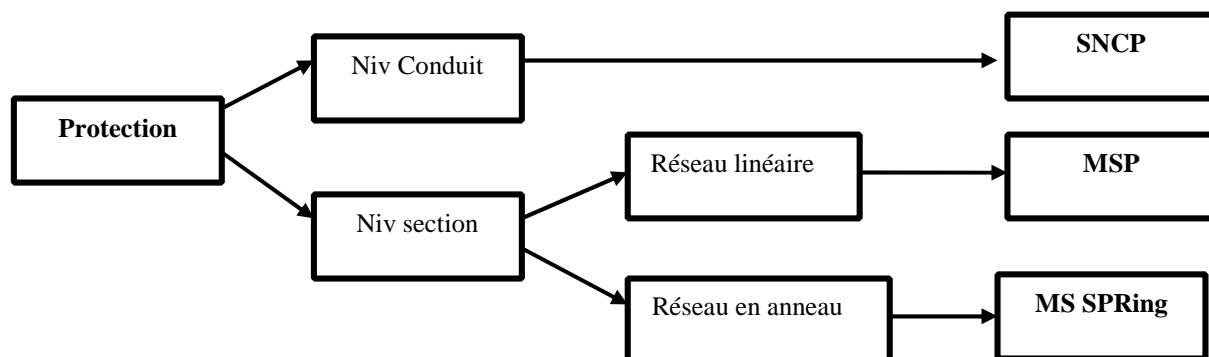


Figure III.32: Protections du réseau.

II.5.3.1. La protection de la section:

Elle est basée sur la détection du défaut au niveau de la section de multiplexage pour les deux ADM situés de part et d'autre, cette protection est utilisée pour la sécurisation des connexions point à point.

a. La protection MSP :

a.1. Protection MSP (1+1) :

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

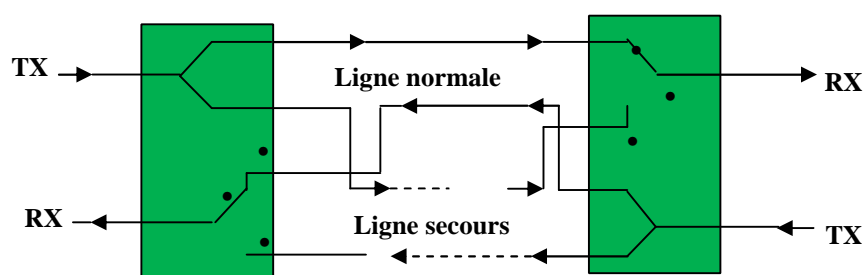


Figure III.33 : La protection MSP (1+1).

a.2. Protection MSP (1:1) ou 1:n

Dans cette protection, une partie de la section de multiplexage est gardée en réserve pour la protection de N liaisons normales. En cas de panne, un échange entre les ADM permet de basculer sur le réseau de réserve. La capacité de secours peut être utilisée pour secourir la liaison normale ou pour transporter le trafic non prioritaire ou extra-traffic. Pour que cette opération puisse s'effectuer, on se trouve devant la nécessité de définir un protocole pour mettre en dialogue les extrémités de la section de multiplexage. Ce dialogue qui doit être rapide, sert à interroger la base réseau sur la possibilité de la liaison de protection, sur la préparation et la synchronisation du basculement. Les ressources de ce protocole sont les octets K1 et K2 du MSOH.

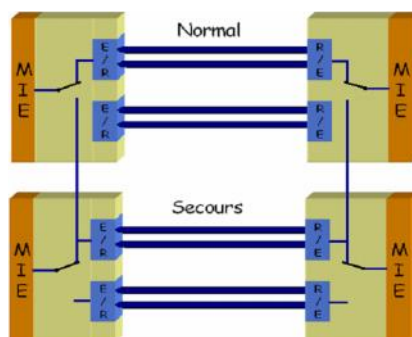


Figure III.34 : Protection MSP (1:1) ou 1:n.

b. Protection de la section de multiplexage partagée (MS-SPRING) :

Dans le cas de la protection partagée, on réserve la moitié de la capacité de l'anneau à la protection. On se limite donc à l'utilisation de la moitié de la capacité de chaque arc de l'anneau, mais il n'y a aucune limite sur le nombre de conduit configurable sur l'anneau. Lorsqu'une coupure se produit, les ADM situés de part et d'autre de la coupure renvoient les conduits interrompus sur la capacité de secours, le trafic est donc rerouté sur le coté opposé de l'anneau. Par exemple, si la fibre entre les ADM B et C est coupée, les deux conduits sont reroutés sur la capacité de secours.

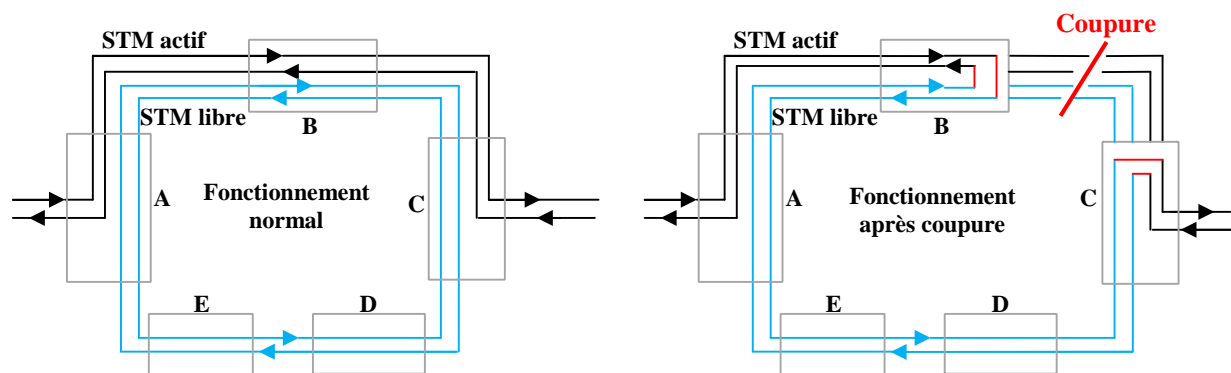


Figure III.35 : Protection de la section de multiplexage partagée.

III.5.3.2. La protection du conduit (SNCP) :

Dans ce type de protection, les éléments réseau sont interconnectés entre eux par deux fibres optiques, l'une achemine le trafic en conditions normales et l'autre sert à la protection du réseau. En conditions normales, le nœud A émet le trafic simultanément sur la fibre normale via B et sur la fibre de secours via E. Dans ce cas, le récepteur choisit le meilleur signal lui arrivant des deux sens en termes de qualité. En effet, s'il y a un problème de transmission sur le chemin passant par le nœud B, le nœud C commutera vers la ligne de protection (via E et D) pour la réception de données émises par le nœud A.

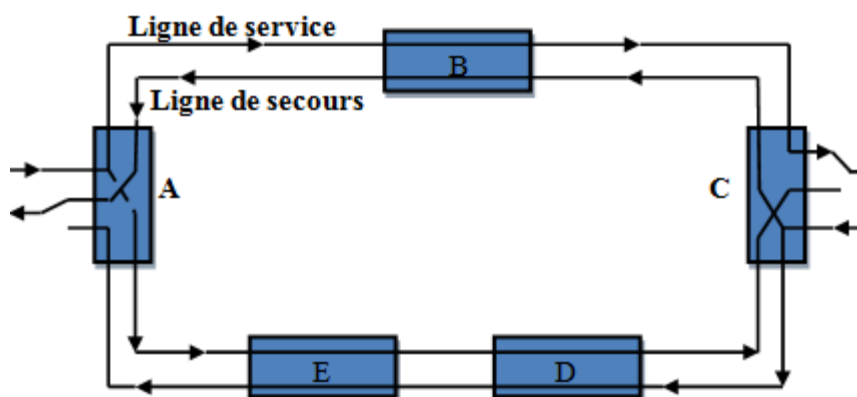


Figure III.36 : protection du conduit.

III.5.4. 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 des horloges synchronisées avec une horloge de référence. Ceci est réalisé grâce à la distribution d'une horloge très stable sur tous les éléments du réseau.

Dans un réseau SDH, chaque équipement est synchronisé avec une horloge principale qu'on appelle horloge de référence de qualité PRC conforme à la recommandation G.811 de l'UIT-T. L'horloge de référence est distribuée sur tous les nœuds du réseau et sert à synchroniser dans chaque élément une horloge esclave (Secondary Reference Clock), conforme à la recommandation G.813, à partir de laquelle on synchronise les sorties des trames STM-N.

Les différentes étapes de la synchronisation sont organisées suivant une structure hiérarchique constituant une pyramide schématisée par la figure III.37.

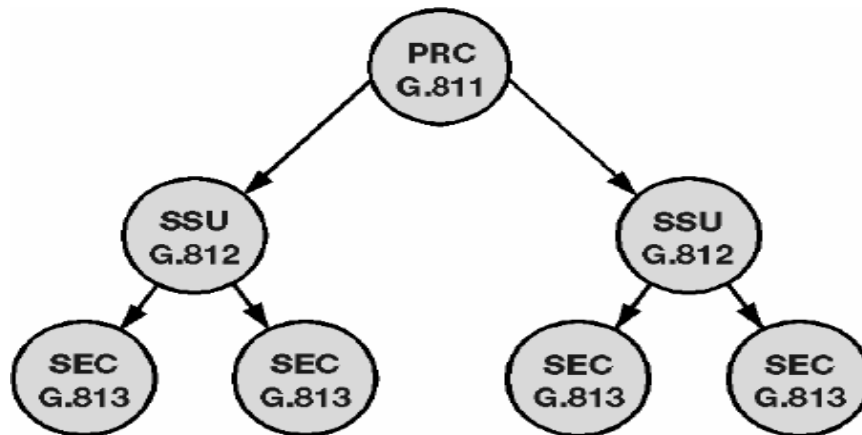


Figure III.37 : Principe de la synchronisation du réseau SDH.

✚ PRC Primary Reference Clock :

C'est la source de référence du rythme pour tout le réseau, elle est doublée par une horloge secondaire SPR (Secondary Reference Clock) qui est souvent une horloge GPS fournie par satellite.

✚ SSU Synchronization Supply Unit :

Cette unité de synchronisation, asservie par la PRC, a pour rôle de distribuer le rythme à certains nœuds d'équipement SDH d'un sous-réseau.

✚ SEC synchronous equipment clock :

Elle sert à synchroniser l'équipement SDH (MT, MTE et Brasseurs).

III.5.4.1. Indication de synchronisation :

Les trames STM comportent un octet STS (Status message Byte) dans le sur débit SOH qui permet d'identifier la nature de l'horloge transportée,

PRC: 0010

SRC: 10111

DNU: 1111 (Do Not Use).

III.6. Conclusion :

La SDH constitue une réponse technique à une demande du réseau de transmission, plus souple (accès directe aux affluent, surdébit d'exploitation, interconnexion des systèmes haut débit,...). La structure de la trame qui contient implicitement la notion de couche, a permis d'élaborer un modèle d'architecture de réseau et une description d'équipements par blocs fonctionnels.

Cette approche globale et cohérente va permettre de faciliter le développement et l'utilisation d'application de gestion de réseau dans un monde multi-industriels et multi-operateurs.

Ainsi, la SDH présente une caractéristique très importante pour les réseaux de télécommunication, celle de sécuriser le trafic en temps réel. Les applications de type voix ont besoin d'une sécurisation en temps réel du transport. La SDH grâce à sa fonction d'auto cicatrisation garantit un temps de rétablissement en cas d'incident sur le réseau inférieur à 50ms.

En fin, l'évolution de SDH permet aujourd'hui d'atteindre des records en termes de débit. Mais elle fait face à une réalité économique qui est l'apparition d'une nouvelle technologie permettant la mise en place de réseaux tout optique de type WDM à $N \times 10$ Gbit/s de débit.

IV.1. Introduction :

Algérie Télécom a le statut d'une entreprise publique, sa naissance remonte au 5 août 2000, après une [restructuration](#) visant le secteur des Postes et Télécommunications [Algériens](#), séparant ainsi, les domaines d'activités Postales de ceux des Télécommunications.

Algérie télécom effectue ses transmissions en utilisant plusieurs réseaux dont:

- Réseaux public de transmission de données par paquets X25 (DZPAC) : 7 600 accès ;
- Backbone national de transmission à 10 GB/s (SDH) et 80 GB/s (WDM) ;
- Backbone régional de transmission à 2,5 GB/s ;
- Réseau radio rural : 103 réseaux intégrant plus de 1500 localités ;
- Plus de 1000 communes (APC) rattachées en fibres optiques.

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

- La pose de la fibre ;
- Configuration de l'équipement ;
- Maintenance.

IV.2. Les différentes étapes de mise en service :

IV.2.1. Pose de la fibre optique :

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

IV.2.2. Configuration des équipements SDH :

Toutes les cartes des équipements SDH reçoivent une alimentation stabilisée de $\pm 48V$, une horloge de synchronisation et une configuration de travail.

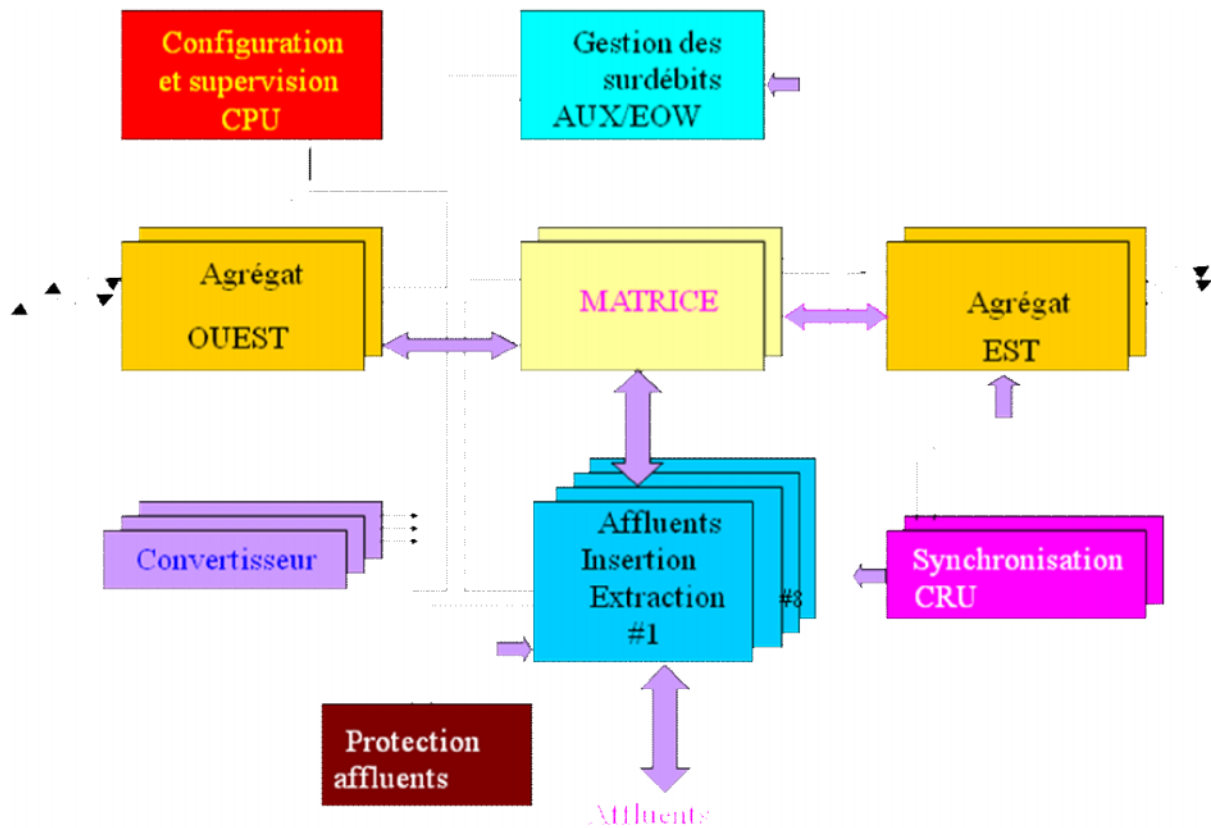


Figure IV.1 : Diagramme fonctionnel d'un équipement SDH.

IV.2.2.1. Configuration d'un ADR 155C « SAGEM »; (CA-I/CA-II):

Cet exemple consiste à montrer les différentes étapes de configuration d'un ADR 155C de marque « SAGEM » (voir annexe IV), assurant la liaison entre le « CA-1 » et le « CA-2 » de Tizi-Ouzou.

a. Création d'une connexion entre le PC et l'équipement ADR 155C:

Pour pouvoir communiquer avec l'équipement (ADR), on doit le connecter à un ordinateur via un port-série (RS232). Pour cela on doit configurer le PC de tel sort à entrer l'adresse IP de l'équipement ainsi que celle de l'espace de travail. La figure IV.2 montre les étapes de création de cette connexion.

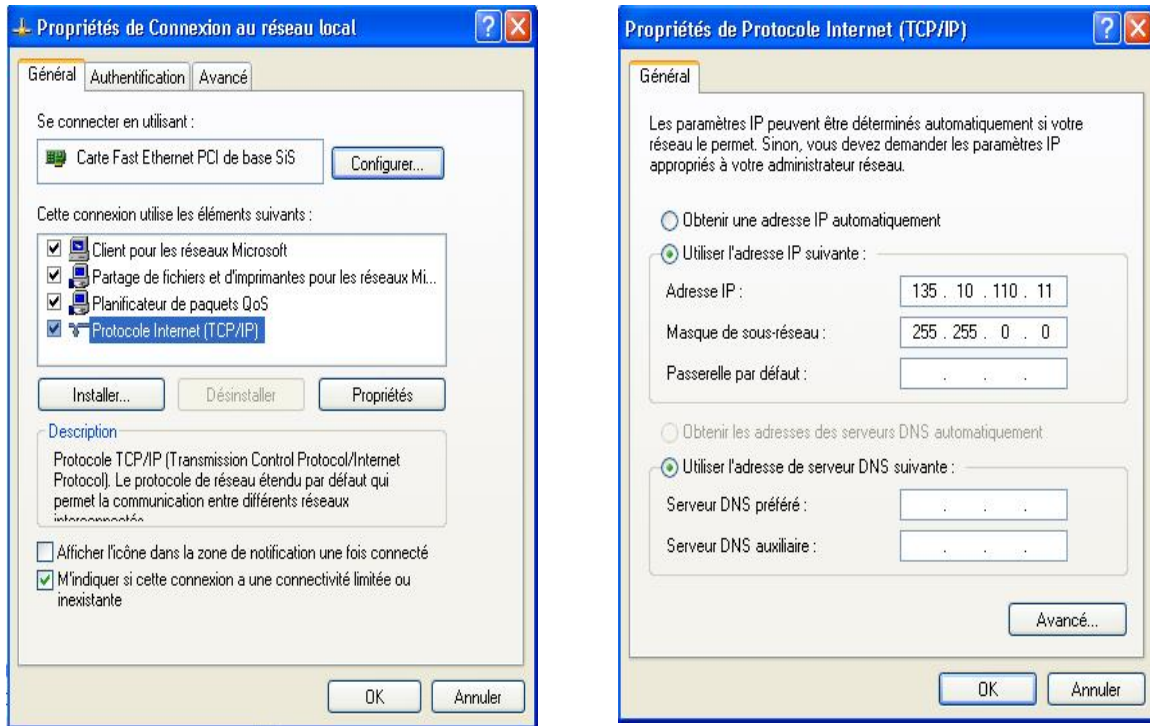


Figure IV.2 : Etape de création de la connexion entre PC/Equipement.

b. Visualisation de l'équipement :

Pour se faire, on doit lancer internet explorer et sélectionner l'adresse IP de l'ADR. La face externe de l'équipement est, alors, affichée sur l'écran de l'ordinateur comme suit.

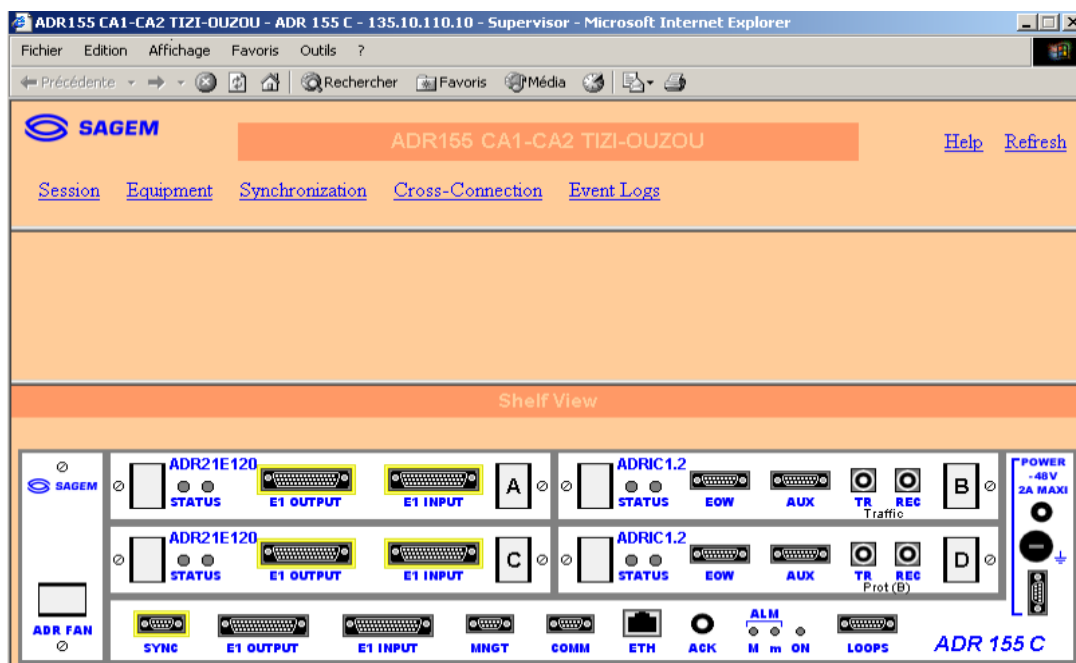


Figure IV.3 : Visualisation de l'équipement.

c. Mise en service :

Pour mettre en service notre équipement on doit cliquer sur la carte mère et configuré les différentes cartes, dans notre cas l'ADR 155C est déjà configuré donc en cliquant sur la carte B, la zone service est cochée.

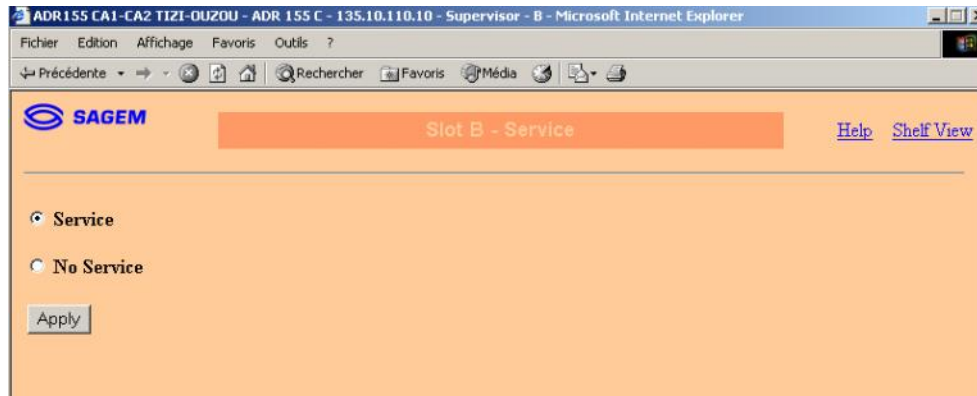


Figure IV.4 : Etape de mise en service de l'ADR.

d. Activation de la carte :

Afin de configurer les différentes cartes de l'équipement, on doit se connecter avec la carte optique (B ou D) et suivre les différentes étapes qui apparaissent sur la barre de menu.

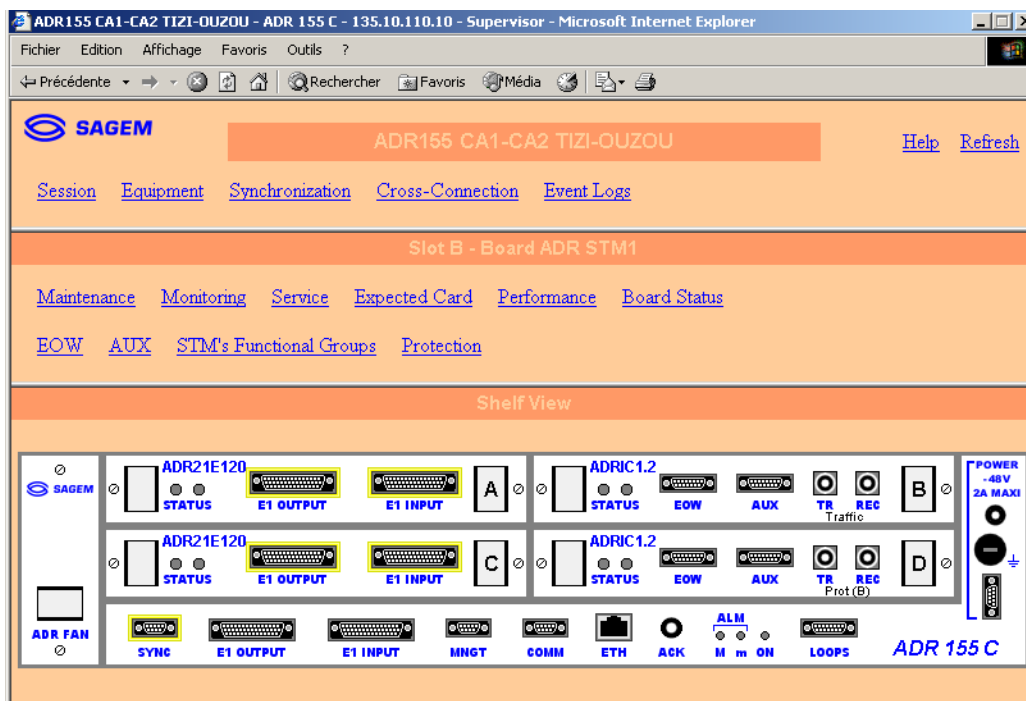


Figure IV.5 : Face du l'ADR qui nous permet d'activer les différentes cartes.

e. Choisir le type de la carte :

Pour choisir le type de la carte, on va cliquer sur « Expected Card » et cocher le type correspondant, exemple la carte B (ADRIC1.2).

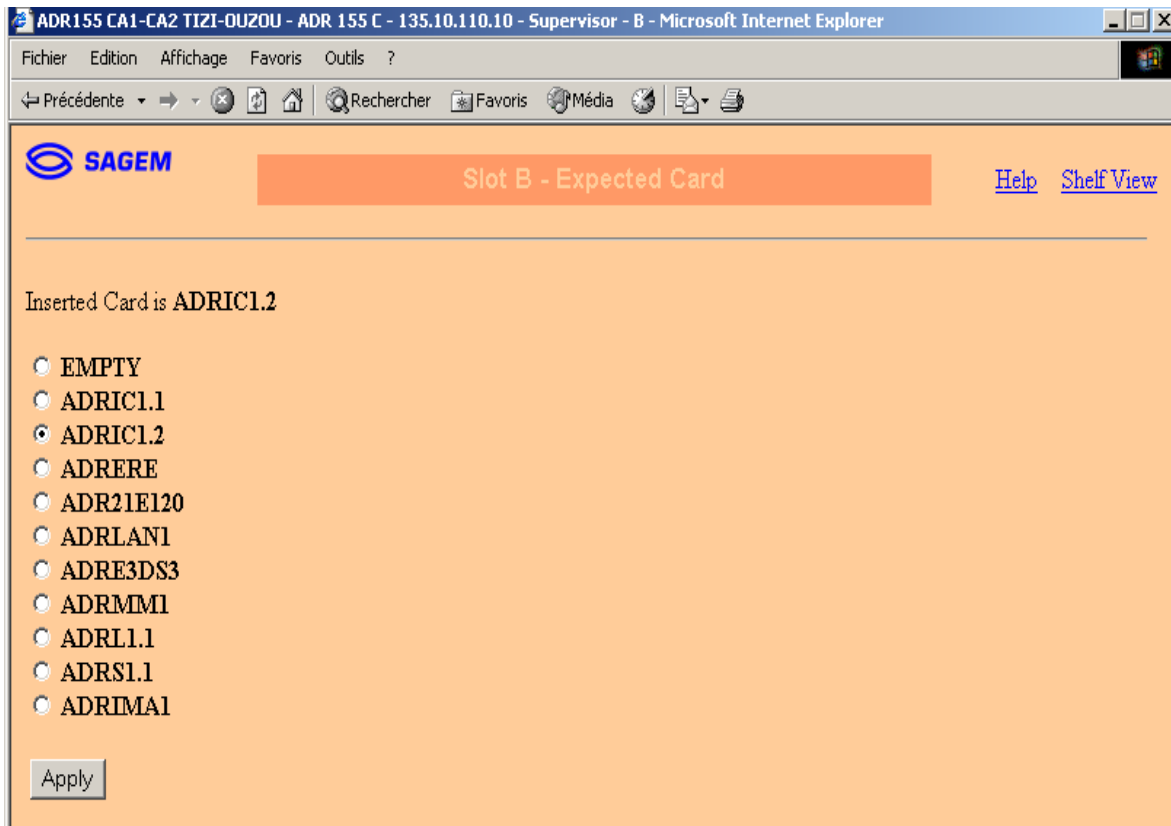


Figure IV.6 : Sélection du type de la carte.

f. Cross connexion :

Dans la page précédente on clique sur « Shelf View » pour retourner à la page d'accueil, en suite on clique sur « Cross-connection ». Cette étape permet d'afficher la page contenant les différentes crosses connexions déjà configurées. Elle contient aussi le menu permettant la création d'éventuels crosses connexions.

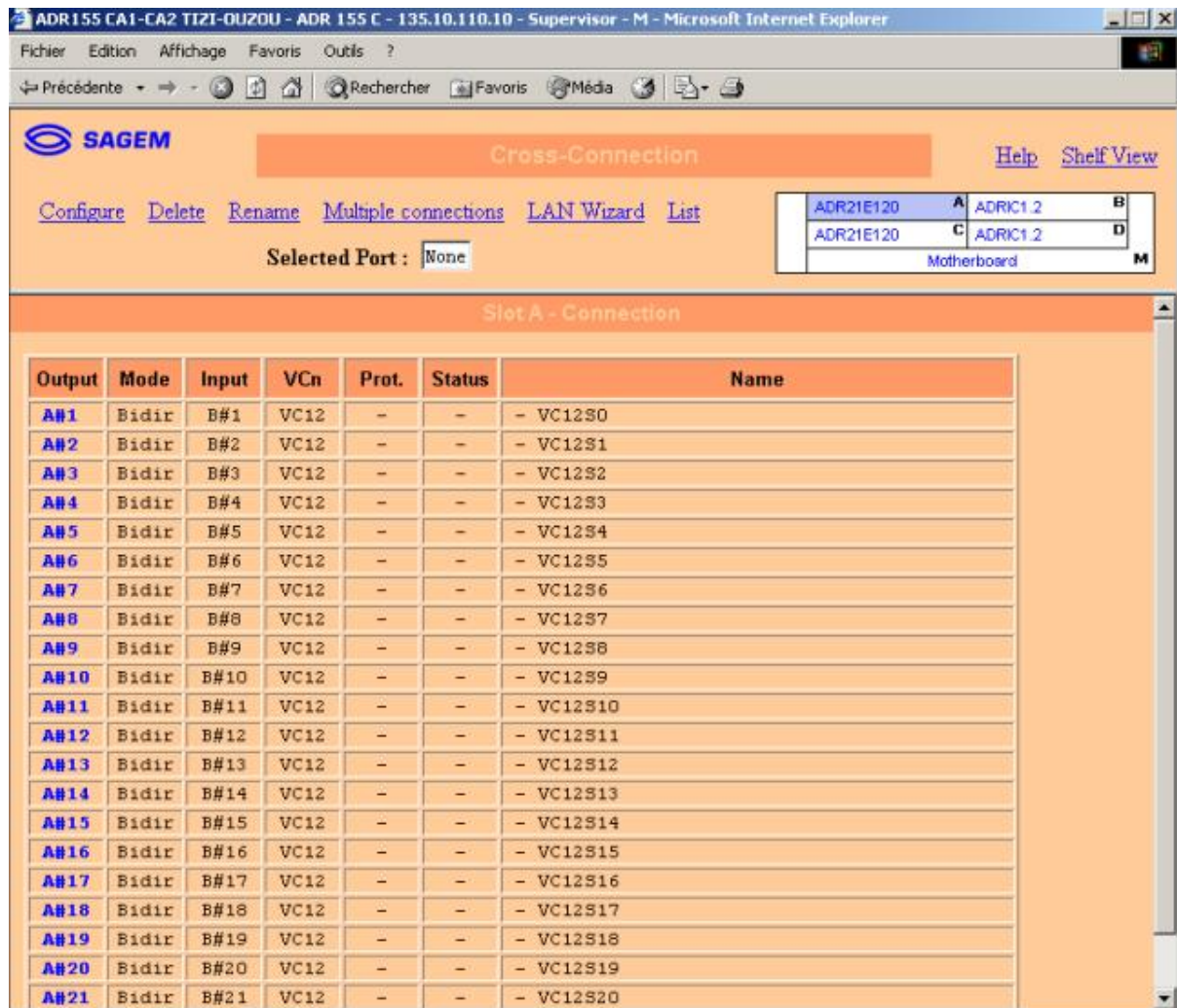


Figure IV.7 : Fenêtre des cross connexion de l'équipement (CA1-CA2).

g. Crée une cross connexion :

Pour créer une cross connexion on va cliquer sur « configure » montrée sur la figure précédente.

The screenshot shows the SAGEM Cross-Connection configuration interface. At the top, there's a header with the SAGEM logo and the title 'Cross-Connection'. Below the header, there are navigation links: 'Configure', 'Delete', 'Rename', 'Multiple connections', 'LAN Wizard', and 'List'. A 'Selected Port' field is set to 'B#1'. A table displays a cross-connection matrix:

ADR21E120	A	ADR1C1.2	B
ADR21E120	C	ADR1C1.2	D
Motherboard			

The main configuration area is divided into several sections:

- Link:** Output Port: B#1, VC-n Type: VC12 Bidirectional, Input Port: A#1.
- Name:** Town A, Suffix A, Town B, Suffix B, Func. Code: VC12S, Serial N°: 0.
- Protection:** Status, Revertive (Yes/No), WTR: 60 (30-900 sec), SF Persistancy: 0 (0-100 1/10sec), SNC Type: SNC/I, Protection Input Port: No Protection.
- Command:** Radio buttons for Clear, Manual-working, Manual-protection, Forced-working, Forced-protection, and Lockout.

Figure IV.8 : Fenêtre de création d'une cross connexion.

h. Protection :

Cette étape nous permet de choisir le mode de protection le plus judicieux pour la liaison. Puisque cette liaison est de type point à point, alors la protection utilisée est celle du conduit (MSP : 1+1).

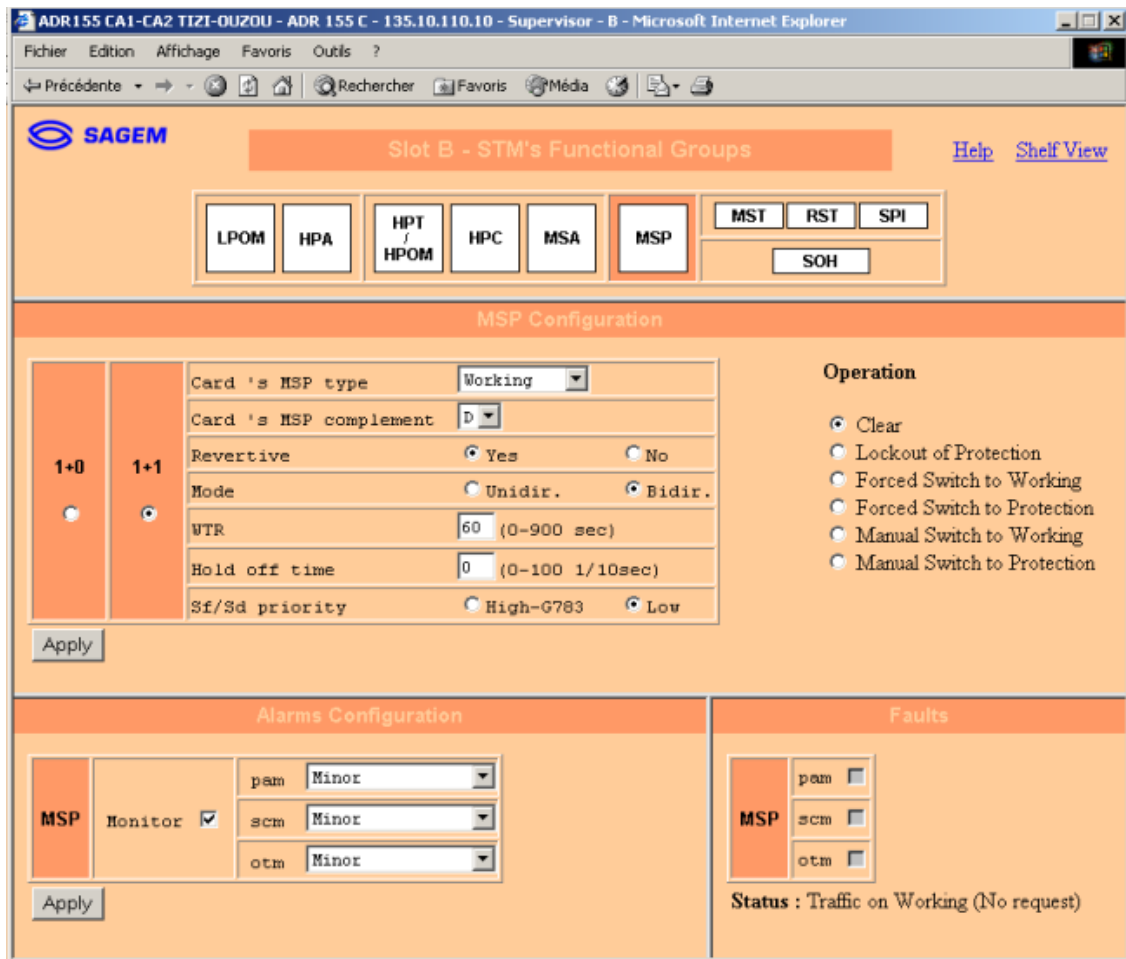


Figure IV.9 : Fenêtre de protection de la trame STM.

i. Synchronisation :

Pour effectuer cette opération on doit cliquer sur l'option « synchronization » dans le menu principal (figure IV.3). Ainsi, on se trouve devant un choix à faire entre plusieurs synchronisations (T0, T1, T2, T3 et T4), chacune à ses caractéristiques.

Par ailleurs, le choix le plus judicieux à faire se porte sur les horloges externes à savoir T3 et T4 car c'est elles qui nous permettent d'obtenir la meilleure qualité d'horloge (PRC). En faisant ce choix on sélectionne l'horloge nationale.

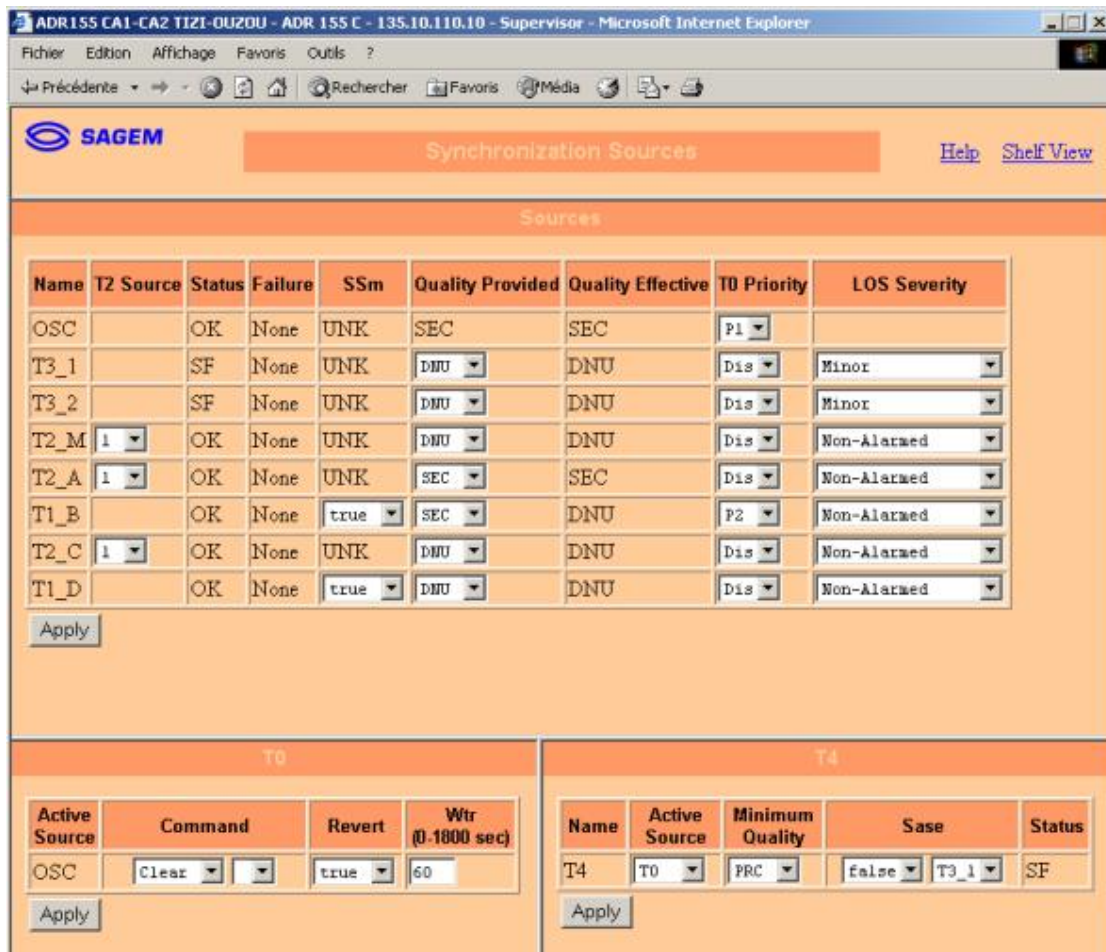


Figure IV.10 : Fenêtre de synchronisation.

j. Refroidissement :

Pour protéger l'équipement de la haute température, un processus de refroidissement est mis en service en cliquant sur « Monitoring » dans la face de l'équipement, en suite cocher l'icone « Monitoring ».

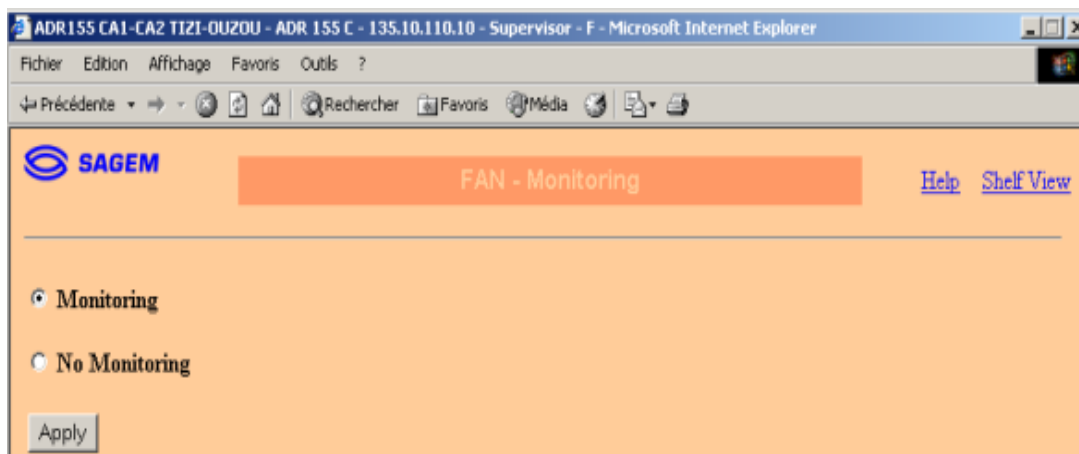


Figure IV.11 : Fenêtre Refroidissement.

k. Maintenance E-1 (2 Mbit/s) :

Cette étape nous permet de configurer la maintenance d'E-1 dans la trame STM-1 par bouclage (No loopback). En effet, lorsqu'un dérangement survient le travail s'effectue en locale c'est-à-dire en boucle les E-1 pour diagnostiquer la source du problème.

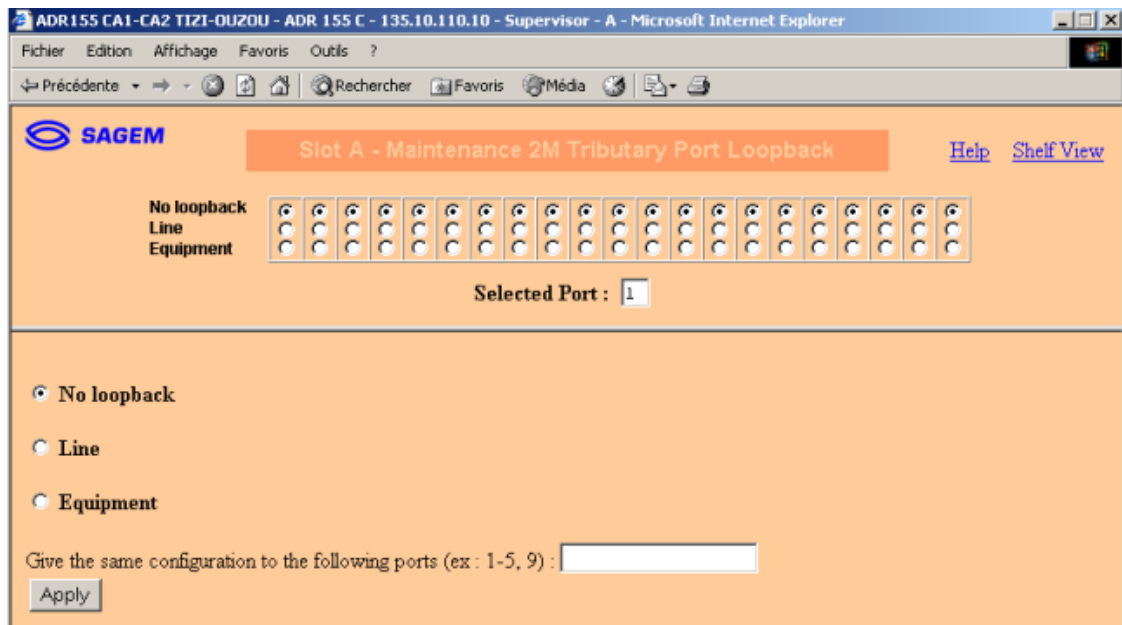


Figure IV.12 : Fenêtre de maintenance de E-1.

l. Maintenance STM-1 (155 Mbit/s):

Cette étape nous permet de configurer la maintenance de la trame STM-1 complète par bouclage (No loopback). Elle permet de tester toute la trame lorsqu'on exploite tout l'équipement, en générale le problème vient du support de transmission (fibre optique).

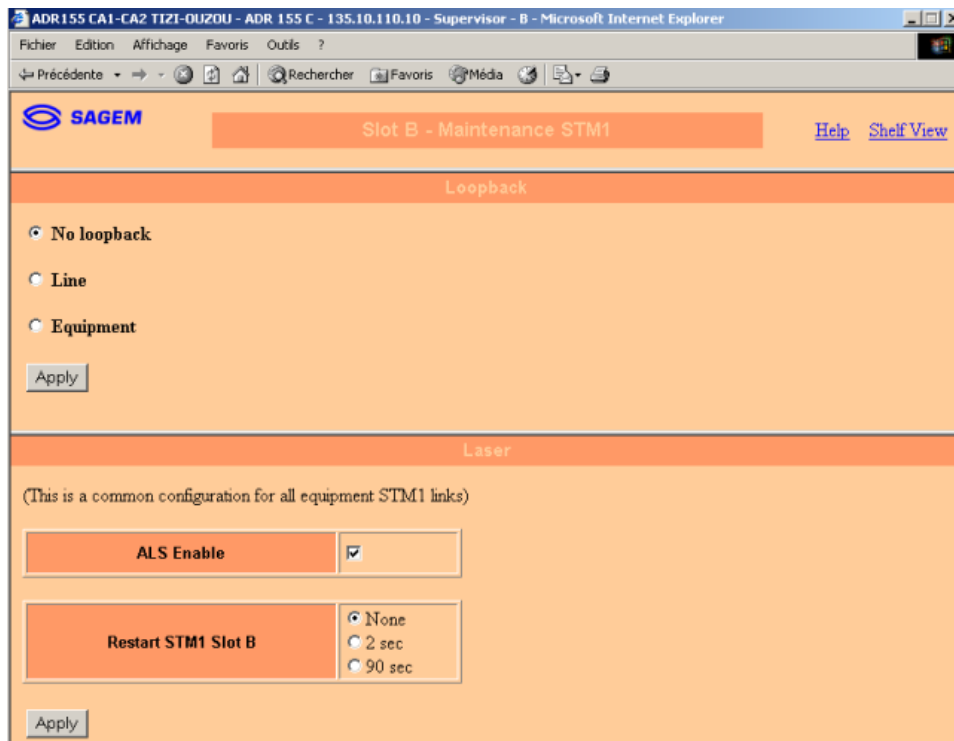


Figure IV.13: Fenêtre de maintenance de STM.

IV.2.2.2. Configuration d'un équipement 155Mbit/s OPTIX OSN 3500 « HUAWEI » (CA2/POLY-KRIM):

Le matériel utilisé est de marque HUAWEI, le logiciel qui nous permet de travailler dessus est le T2000. Les différentes étapes de configuration sont :

a. Lancer le T2000 (serveur et client) :

Ces étapes permettent d'établir la connexion avec l'équipement, en insérant un nom (ADMIN) et un mot de passe (T2000).

b. Recherche de l'équipement :

Elle est obtenue en cliquant sur «File » en suite « Search for NE » puis « Start ».

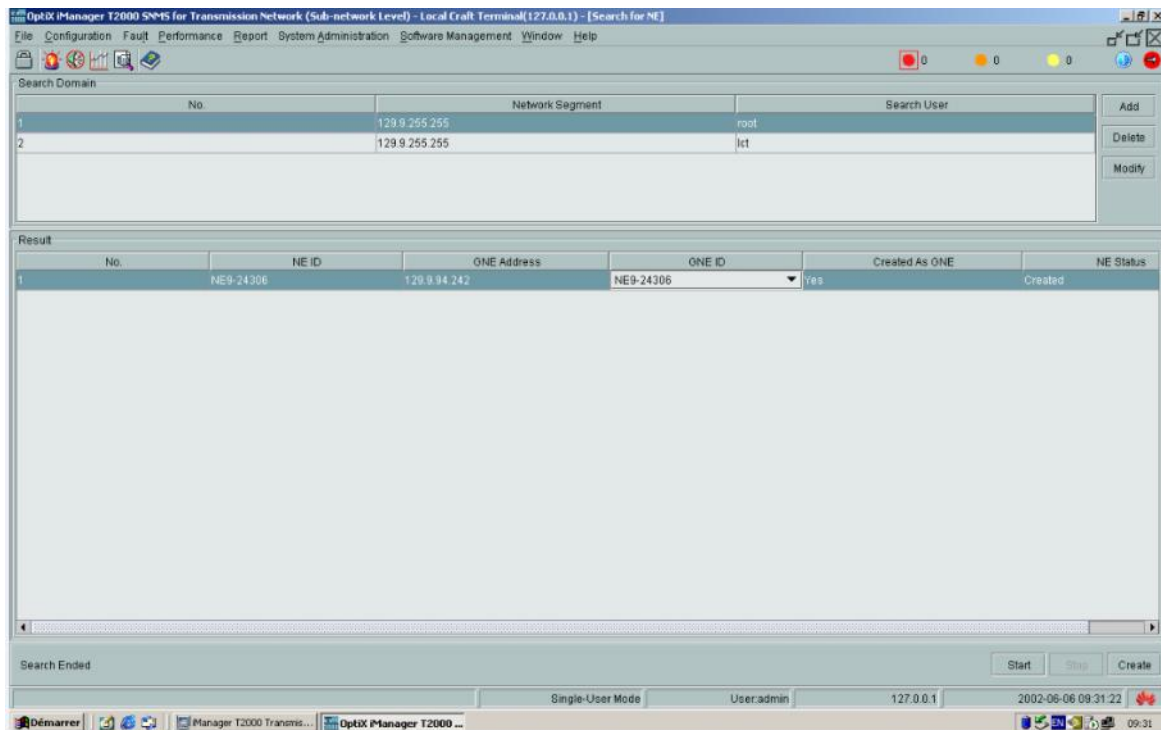


Figure IV.14: Fenêtre de lancement de la Recherche de l'équipement.

c. Configuration de l'équipement :

Cette configuration se fait par étapes dont :

➤ **Create :**

En cliquant sur l'option « create » de la figure précédente, une fenêtre s'affiche afin d'insérer un « User Name » et un « Password » (figure IV.15), permettant d'accéder à la fenêtre contenant les différentes options notamment celle de configuration (figure IV.16).

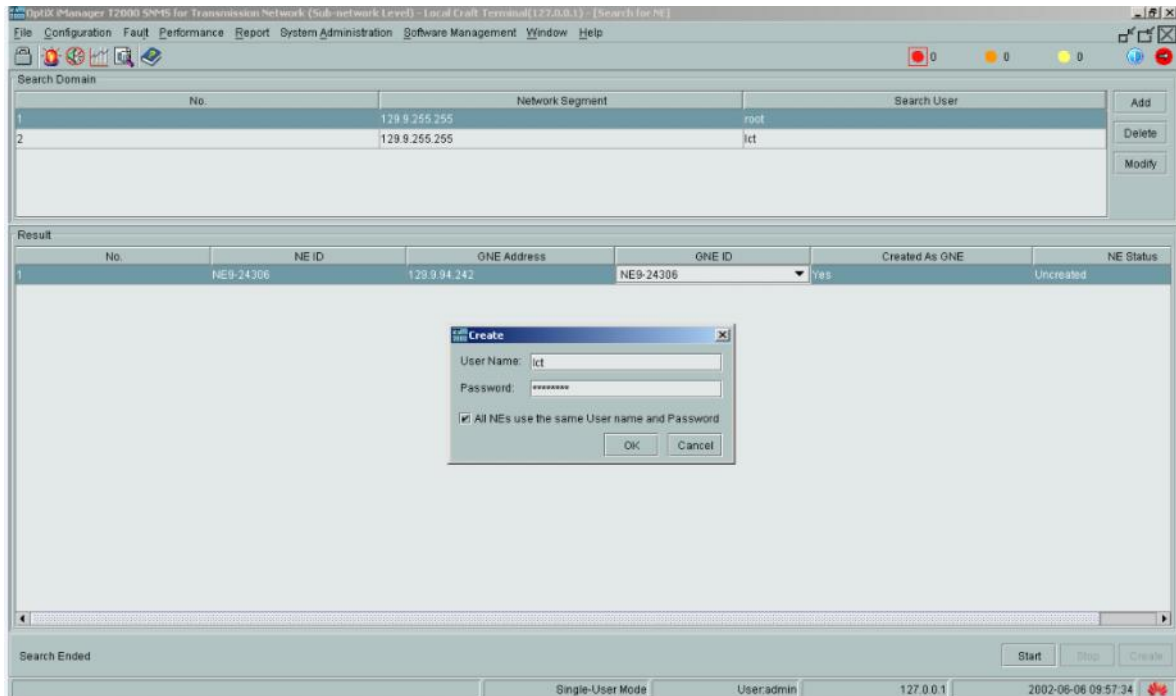


Figure IV.15: Fenêtre qui permet d'accéder au manuel de configuration.

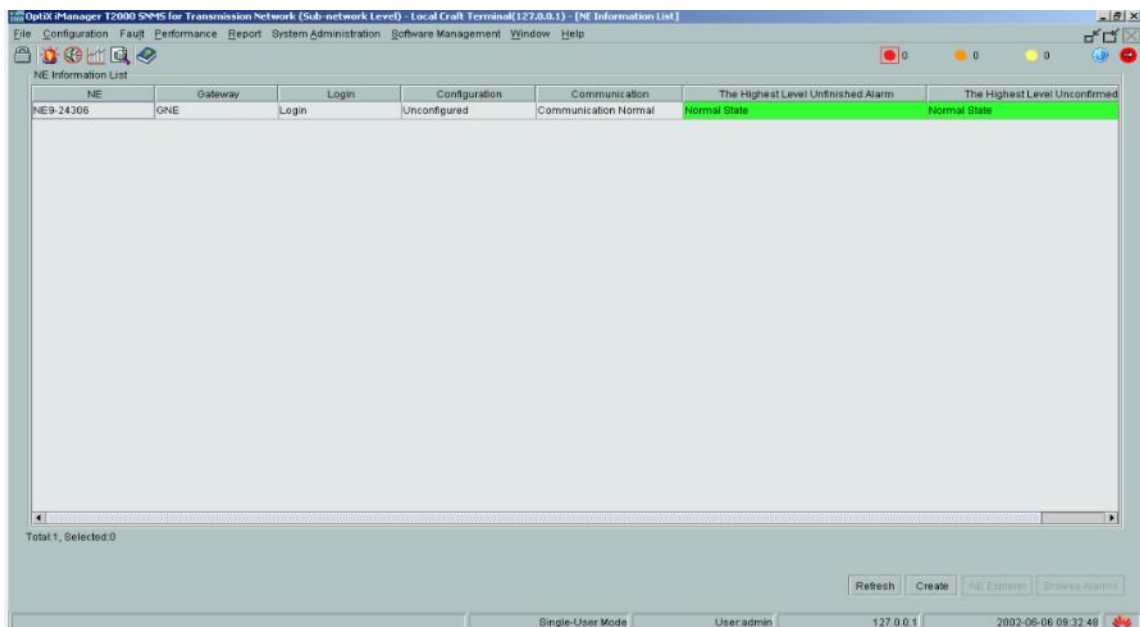


Figure IV.16: Fenêtre qui permet d'accéder aux modes de configuration.

➤ **Modes de configurations:**

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

1. Manuel Configuration :

Ce choix nous permet de configurer manuellement l'équipement.

2. Copy NE Data :

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

3. Upload :

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

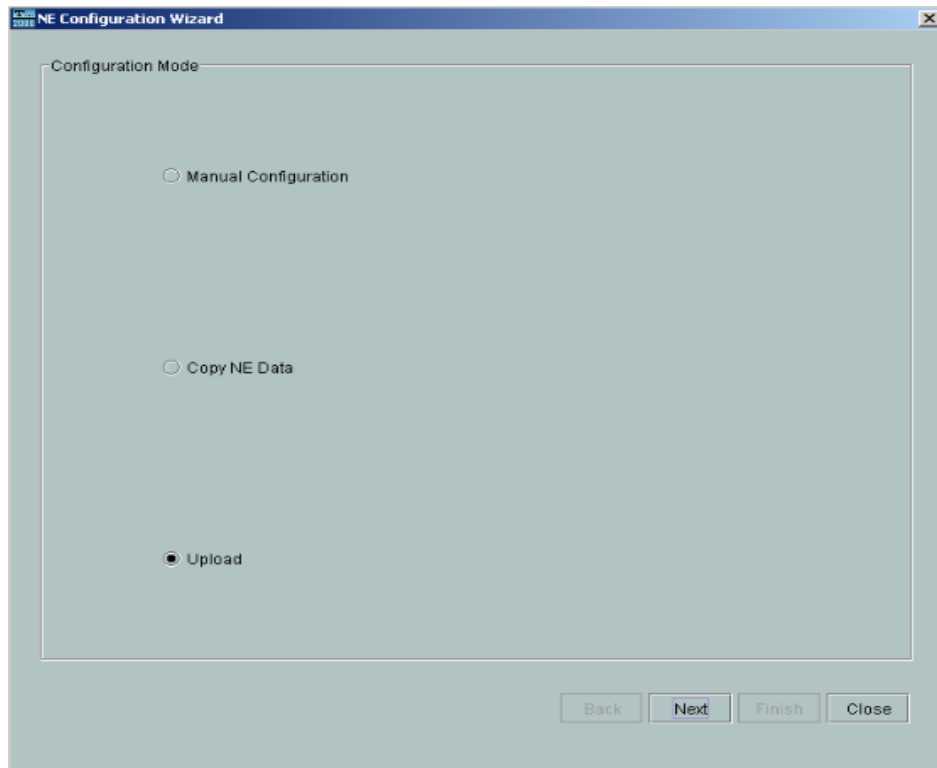


Figure IV.17: Les différents modes de configuration de l'équipement.

➤ Configuration :

La configuration des différentes cartes de l'équipement se fait en cliquant sur la liaison « CA2-POLY-KRIM » et faire les différentes configurations tel que (SDH Service Configuration, Clock, Alarm ...etc).

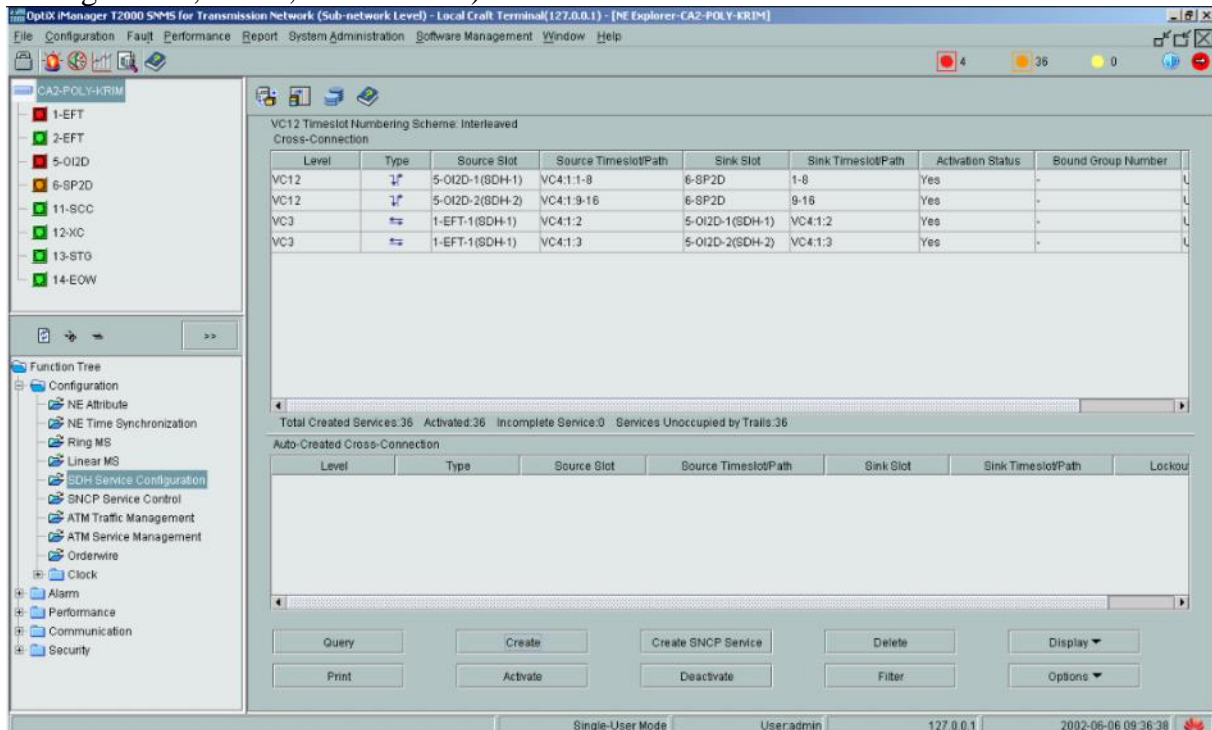


Figure IV.18: Fenêtre de configuration des différentes cartes.

➤ Gestion de la trame :

Ces fenêtres s'obtiennent en cliquant sur « create » de la (figure IV.18), afin de gérer la STM-1 à savoir les affluents, le routage et le type de la carte en Emission ainsi qu'en Réception.

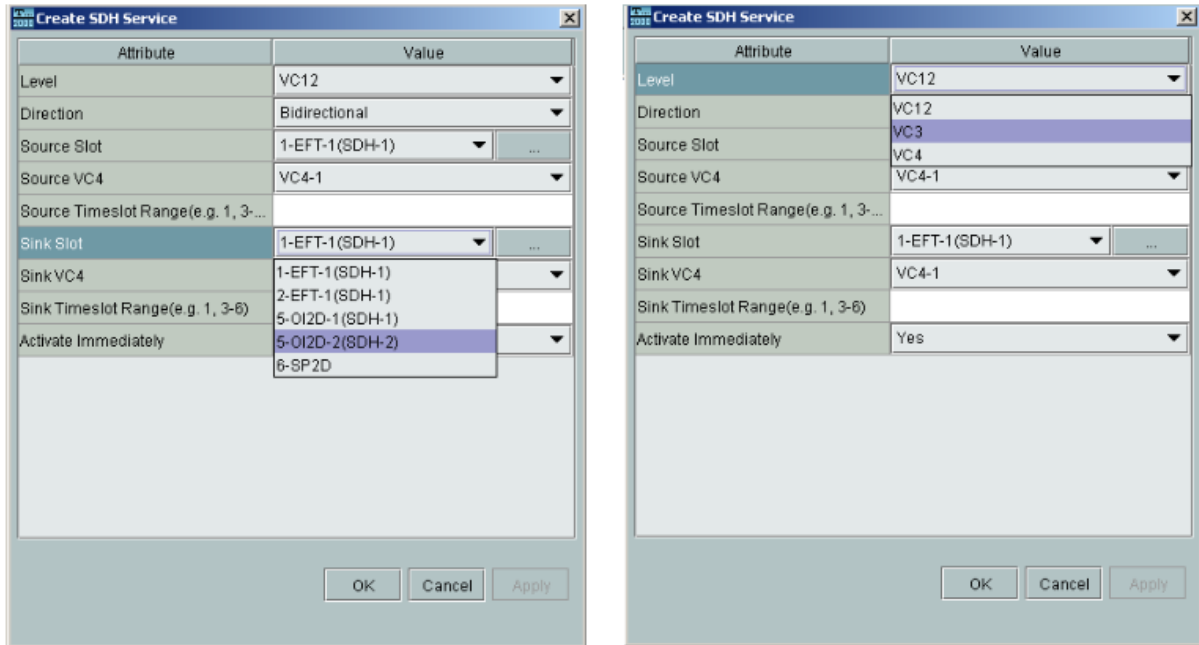


Figure IV.19: Fenêtres qui nous permettent de gérer la trame STM-1.

➤ **Synchronisation :**

Cette étape nous permet de choisir le type de synchronisation de l'équipement.

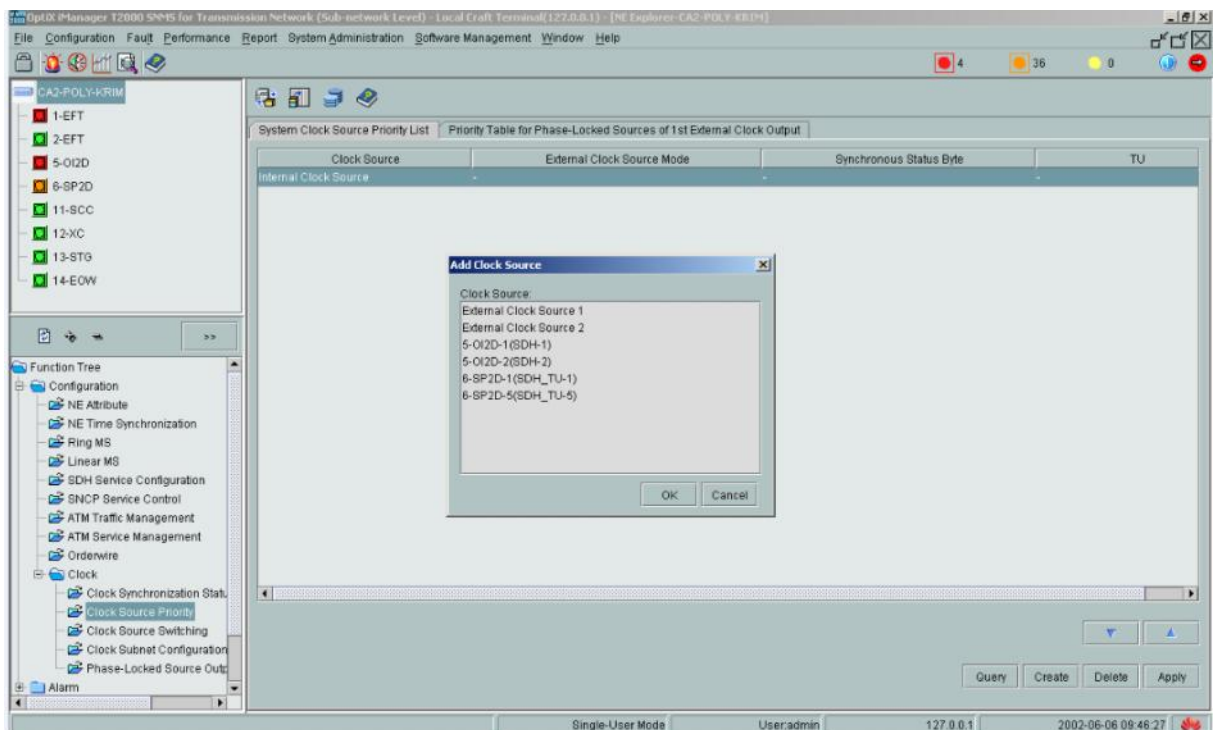


Figure IV.17: Fenêtre permettant le choix de la synchronisation.

IV.3. Teste des liaisons :

IV.3.1. Liaisons optiques :

a. Appareil Emission/Réception :

Il s'agit de l'un des appareils de teste des liaisons optiques utilisé au centre CA2 d'Algérie Télécom est « ACTERNA OLP-55 » (Optecal Power Meter-55); (voir annexe V).

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

a.1. Principe de la mesure :

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

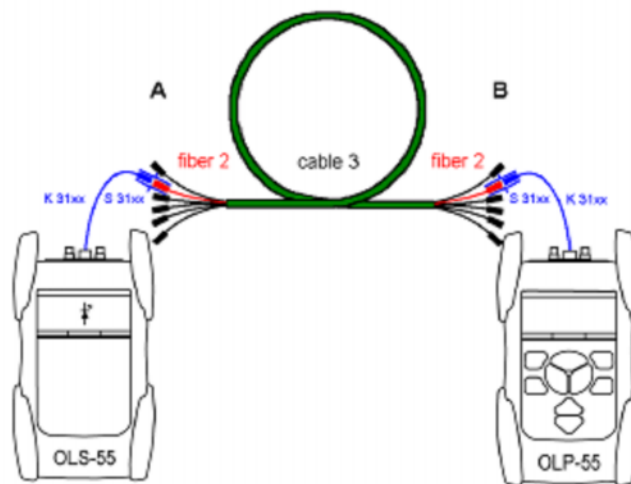


Figure IV.18 : Configuration pour la mesure d'atténuation.

b. Le Réflectomètre :

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

b.1. Principe de la mesure :

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

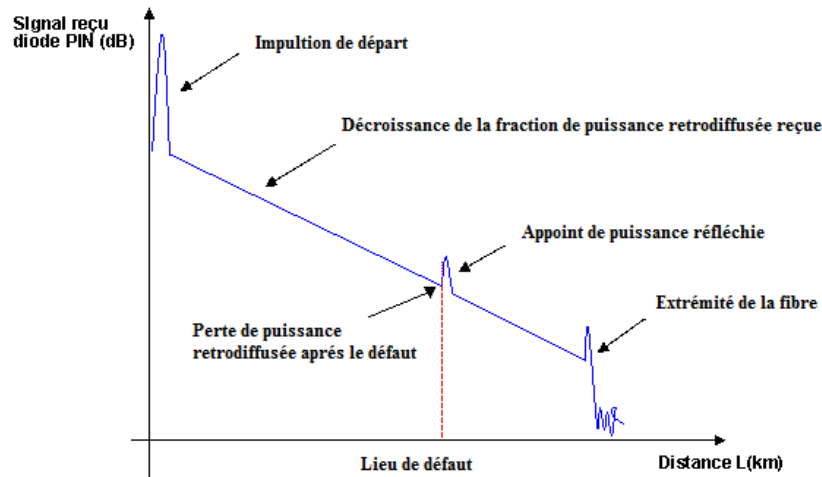


Figure IV.19 : Réponse impulsionnelle du réflectomètre.

IV.3.2. Liaison électrique :

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

a. Principe de la mesure :

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

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

Conclusion générale

L'utilisation de la technologie SDH et la topologie réseau notamment en anneau, aura un impact considérable sur tous les aspects du service offert à la clientèle. Suite à une interruption de service, les réseaux en anneau reviennent à la normale en quelques millisecondes (inférieur à 50 ms) en cas de discontinuité du câble optique. Le mode de transfert synchrone permet aux équipements multiplex ADM d'extraire le trafic dans l'anneau à fibre optique, avec une combinaison réduite au minimum de circuits électroniques et d'applications logiciels. La limitation des processus de modulation et la diminution du nombre d'équipements en service ont pour effet de réduire les dépenses d'investissement initiales, d'améliorer la fiabilité du service et de limiter les besoins de maintenance.

Au terme de cette étude, nous avons constaté l'importance de la technologie SDH et la fibre optique pour produire les différents équipements qui vont apporter au réseau des améliorations de service, de fiabilité et de bon fonctionnement. Ces produits constituent la base de télécommunication à large bande.

Enfin, ce mémoire nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine de la transmission et d'acquérir une expérience dans le domaine pratique, sur le fonctionnement et la mise en service des équipements de transmissions SDH via fibre optique (SAGEME et HUAWEI), tel que ADR 155C et OPTIX OSN 3500. Ces derniers permettent de construire des liaisons SDH point à point STM-1 ou en anneaux STM-1, avec une synchronisation de bonne qualité et une protection du conduit (SNCP) ou de section (MSP), permettant ainsi le transport des affluents, Ethernet, STM-1.