

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU



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 installation d'un réseau de transmission sous SDH

Proposé par :
M^r LAHDIRI

Encadré par :
M^r LAGHROUCHE

Étudié par :
M^{elle} OULD ABDESSELAM
HASSINA

Année universitaire : 2008/2009

Soutenu le : 18 /10/2009

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOULOU MAMMERI, TIZI-OUZOU



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 installation d'un réseau
de transmission sous SDH**

Soutenue le 18 Octobre 2009 devant la Commission d'Examen composée de :

Mr ZIANI.	Président
Mr BEN NAMANE.	Examineur
Mr ZIRMI.	Examineur
.	
Mr LAHDIRI.	Co-promoteur de Thèse
Mr LAGHROUCHE.	Promoteur de Thèse

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2008/2009

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements s'adressent bien évidemment à Monsieur LAHDIRI par qui ce thème m'a été proposé et qui a accepté de me co-encadrer en m'accueillant au sein de l'agence Mobilis de Tizi-Ouzou. Merci pour ses précieux conseils qui font mouche à chaque fois et pour son soutien sans faille.

Un grand merci aussi à Monsieur BEN SIDHOUM pour tous ses conseils toujours avisés, son énorme aide, sa gentillesse. Merci pour tout.

Je tiens aussi à remercier le personnel d' « ALGERIE TELECOM » en me donnant l'opportunité de poursuivre ce travail au sein de leurs équipes. Particulièrement, Monsieur AMIRAT ingénieur à NERA.

J'exprime ma profonde gratitude à Monsieur LAGHROUCHE mon promoteur de Thèse qui m'a encadré et soutenu durant ce travail.

J'exprime toute ma gratitude et mon respect aux membres du jury qui malgré un emploi du temps serré, m'ont tous fait l'honneur d'accepter de prendre part à ce jury et surtout de lire et d'expertiser mon travail.

Sous un second angle d'approche, les raisons véritables qui ont permis la réussite de ce travail mais surtout l'aboutissement de ce cursus sont sans aucun doute la présence infaillible de mes proches au cours de ces années. À ce titre, il est pour moi difficile de trouver les mots qui puissent transcrire avec exactitude toute la gratitude que j'ai à leur égard. Si, peut-être en les remerciant... tout simplement.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE-----	1
 CHAPITRE I : SUPPORTS ET TECHNIQUES DE TRANSMISSION	
1.1. Introduction-----	3
1.2. Les supports de transmission-----	3
1.2.1. Les supports guidés-----	3
1.2.1.1. La paire symétrique-----	3
1.2.1.1.1. Domaine d'utilisation-----	4
1.2.1.2 Le câble coaxial-----	4
1.2.2.2.1 Domaine d'utilisation-----	5
1.2.1.3. La fibre optique-----	5
1.2.1.3.1. Constitution d'une fibre-----	6
1.2.1.3.2. Transmission sur fibre optique -----	6
1.2.1.3.3. Les types de fibre-----	7
1.2.1.3.3.1. Fibre multimode à saut d'indice ---	7
1.2.1.3.3.2. Fibre multimode à gradient d'indice	8
1.2.1.3.3.3. Fibre monomode-----	8
1.2.1.3.4. Caractérisation de la fibre optique-----	9
1.2.1.3.4.1. L'ouverture numérique-----	9
1.2.1.3.4.2. L'atténuation dans la fibre-----	10
1.2.1.3.4.3. Dispersion-----	11
1.2.1.3.5. Avantages de la fibre optique-----	11
1.2.1.3.6. Inconvénients de la fibre optique-----	11
1.2.1.3.7. Applications de la fibre optique-----	12
1.2.2. Les supports libres-----	12
1.2.2.1. Atmosphère terrestre-----	12
1.2.2.2. Les faisceaux hertziens-----	13
1.2.2.3. Les liaisons satellitaires-----	14
1.2.3. Comparaison des milieux de transmission-----	14
1.3. Les procédés de transmission-----	15
1.3.1. Principe et buts de la modulation-----	15
1.3.1.1. Définition de la modulation-----	15
1.3.1.2. Principe de la modulation-----	15
1.3.1.3. Types de modulation-----	16
1.3.2. Échantillonnage-----	17
1.3.3. Le multiplexage-----	18
1.3.3.1. Définition-----	18
1.3.3.2. Multiplexage fréquentiel (FDM)-----	18
1.3.3.3. Multiplexage temporel (TDM)-----	18
1.3.3.4. Multiplexage de codes (CDM)-----	19
1.4. La transmission numérique -----	19
1.4.1. Principe-----	19
1.4.2. La régénération-----	19
1.4.3. Modulation numérique-----	20
1.4.3.1. Principe-----	20

1.4.2.2. La quantification-----	20
1.4.2.2.1. Définition-----	20
1.4.2.2.1.1. Quantification uniforme-----	21
1.4.2.2.1.2. Quantification non uniforme-----	21
1.4.2.3. La compression-----	21
1.4.2.3.1. Les lois de compression-----	21
a)- La loi A européenne-----	21
b)- La loi μ américaine-----	21
1.4.2.4. Le codage-----	23
1.4.2.4.1. Le code AMI-----	23
1.4.2.4.2. Le code HDB3 -----	24
1.4.2.5. Les types de modulation numérique-----	24
1.5. Les systèmes numériques-----	25
1.5.1. Les systèmes multiplex primaires-----	26
1.5.2. Hiérarchie numérique plésiochrone (PDH)-----	28
1.5.2.1. Définitions des débits : tableaux récapitulatifs-----	29
1.5.3. Le réseau optique synchrone : SONET-----	31
1.5.4. Hiérarchie numérique synchrone (SDH)-----	32
1.5.5. La WDM (Wavelength Division Multiplexing)-----	32
1.6. Conclusion-----	33

**CHAPITRE 2 : ETUDE DE LA HIÉRARCHIE NUMÉRIQUE
SYNCHRONE**

2.1. Introduction-----	34
2.2. Présentation de SDH-----	34
2.2.1. Avantage de la technologie SDH-----	34
2.2.2. Définition des éléments de la SDH-----	35
2.2.2.1. Le conteneur de niveau n (C-n)-----	35
2.2.2.2. Le conteneur virtuel (VC-n)-----	35
2.2.2.3. L'unité d'affluent (TU-n)-----	35
2.2.2.4. Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n)-----	37
2.2.2.5. L'unité administrative (AU-n)-----	37
2.2.2.6. Le groupe d'unités administratives (GUA-n)-----	37
2.2.3. Le multiplexage SDH-----	38
2.2.4. Structure de la trame de base de la SDH-----	39
2.2.4.1. Le surdébit de section (SOH)-----	40
2.2.4.2. Signification des octets-----	41
1. Du RSOH-----	41
2. Du MSOH-----	41
2.2.4.3. Le pointeur-----	42
2.2.4.3.1 Signification des octets de AU-4 PTR-----	43
2.2.4.3.2. Justification du pointeur-----	43
2.2.4.3.2.1. Justification nulle-----	43
2.2.4.3.2.2. Justification positive-----	43
2.2.4.3.2.3. Justification négative-----	43
2.2.4.4. Le surdébit de conduit (POH) -----	43
2.2.4.4.1. Signification des octets de HOP-----	43
2.2.5. Exemple de formation de la trame STM-1-----	44

2.2.5.1. A partir d'un affluent de 140 Mbit/s -----	44
2.2.5.1.1. Formation de C-4-----	45
2.2.5.1.2. Formation de VC-4-----	46
2.2.5.1.3. Formation de L'unité Administrative AU-4--	47
2.2.5.1.4. Formation de l'AUG-----	47
2.2.5.1.5. Formation de la trame STM-1-----	47
2.2.5.2. Formation de la trame STM-n-----	47
2.3. Étude d'un réseau SDH-----	48
2.3.1. Les équipements du réseau SDH-----	48
2.3.1.1. Les multiplexeurs terminaux (TM)-----	48
2.3.1.2 Les multiplexeurs d'insertion/extraction (ADM)-----	49
2.3.1.3. Les régénérateurs (REG)-----	49
2.3.1.4. Les brasseurs (DXC)-----	50
2.3.1.5. Les interfaces optiques-----	50
2.3.2. Les topologies du réseau SDH-----	51
2.3.2.1. Réseau point à point-----	51
2.3.2.2. Réseau point à multipoint-----	52
2.3.2.3. Réseau en anneau-----	52
2.3.2.3.1. Anneau monofibre-----	52
2.3.2.3.2. Anneau à plusieurs fibres-----	53
2.3.2.4. Réseau maillé-----	53
2.3.3. Protection du réseau SDH-----	54
2.3.3.1. Protection de la section de multiplexage (MSP)-----	54
2.3.3.1.1. Protection 1 + 1-----	54
2.3.3.1.2. Protection 1 : 1-----	55
2.3.3.1.3. Protection m : n-----	55
2.3.3.2. Protection de conduit (SNCP)-----	55
2.3.3.3. Protection de section de multiplexage partagée -----	56
2.3.4. Synchronisation d'un réseau SDH-----	56
2.4. Conclusion-----	58

CHAPITRE 3 : PRÉSENTATION DU BACKBONE NATIONAL DE TRANSMISSION

3.1. Introduction-----	59
3.2. Définition d'un Backbone-----	59
3.3. Présentation de l'entreprise "ATM Mobilis"-----	59
3.4. Présentation du Backbone Algérien-----	60
3.5. La synchronisation du réseau-----	64
3.6. Le Système de Gestion et supervision-----	65
3.7. Sécurisation du réseau-----	65
3.8. Conclusion-----	66

CHAPITRE 4 : REALISATION D'UN BACKBONE SOUS SDH

4.1. Introduction-----	67
4.2. Topologie du Backbone SDH de Tizi-Ouzou-----	67
4.3. La matrice du trafic-----	68
4.4. Le plan des fréquences-----	69

4.5. Présentation des équipements utilisés-----	67
4.5.1. L'unité d'interface (IFU)-----	70
4.5.2. Unité externe (ODU)-----	70
4.5.3. Le MUX TJ100ME-----	71
4.6. L'installation de l'équipement-----	71
4.6.1. Installation intérieur (Long Haul Configuration)-----	71
4.6.2. Montage scindé (Split Mount Configuration)-----	72
4.6.3. Dimensions-----	74
4.6.4. Poids-----	74
4.6.5. Les antennes-----	74
4.7. Alimentation électrique-----	74
4.8. Caractéristiques du signal radioélectrique-----	74
4.9. La synchronisation-----	75
4.10. Supervision du Backbone-----	75
4.11. Conclusion-----	75
 CONCLUSION GENERALE-----	 76
ANNEXES	
GLOSSAIRE	
BIBLIOGRAPHIE	

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement des moyens de télécommunications a toujours été un souci majeur pour l'homme. En effet, l'évolution sociale et économique de notre société est fondamentalement liée à l'amélioration des dispositifs permettant d'échanger des informations. Néanmoins, il a fallu attendre le milieu du XIX^{ème} siècle pour assister à la première révolution dans ce domaine : l'invention du télégraphe électrique, autorisant les premières télécommunications trans-océaniques. Dès lors, les innovations se sont très vite enchainés, de telle sorte que de nos jours, la majorité des populations des pays peut facilement communiquer avec une personne située a l'autre bout de la planète.

Au début du XX^{ème} siècle, le téléphone a connu un succès mondial qui a conduit à une nette amélioration des systèmes de télécommunications de l'époque. Dans les années 40, les premiers systèmes à base de câbles coaxiaux permettaient de transmettre l'équivalent de 300 télécommunications téléphoniques, soit 3 MHz de bande passante. Les limites de cette technologie sont atteintes dans les années 70, où des débits d'environ 274 Mbits/s sont rapportés. Son principal inconvénient est la faible distance entre les répéteurs-régénérateurs (environ 1km), qui rend ce système relativement coûteux.

Si l'usage de l'électricité a nettement amélioré les performances des systèmes de télécommunications, l'utilisation d'ondes lumineuses les a complètement révolutionnées. Bien que la transmission d'informations à l'aide de signaux lumineux date de plusieurs siècles (feu, signaux de fumée...), c'est grâce à l'invention des lasers dans les années 60 et de guide d'ondes lumineuses à faibles pertes que ce support d'information a connu un regain d'intérêt. Les progrès ont été remarquables dans ces deux domaines, par exemple, les pertes des premières fibres optiques en 1960 valaient 1000 dB/Km, dix années plus tard elles passaient à 20 dB/km, pour aujourd'hui flirter avec la limite théorique, soit 0,2 dB/km. En 1980, L'invention et le développement des amplificateurs/régénérateurs à fibre dopée erbium sont alors venus révolutionner les télécommunications par fibre. Cette nouvelle technologie tout optique permet d'augmenter les débits de transmission mais plus essentiellement la grande distance qui sépare chaque répéteur, environ dix fois supérieure à celle des systèmes à câble coaxial.

Internet, les images, le son, la vidéo, ont poussé à développer des systèmes de transmissions de plus en plus performants pour relier un million d'abonnés, dix millions, un milliard... La poussée des débits obligeait maintenant à atteindre, voire dépasser le terabit/s et donc à développer des architectures toutes-optiques.

A partir des années 60, le remplacement progressif des réseaux analogiques à multiplexage fréquentiel par des réseaux à modulation PCM (MIC) qui permettent l'utilisation multiple d'une même ligne par multiplexage

numérique temporel. Le signal téléphonique est alors échantillonné à une fréquence de 8 kHz, puis numérisé et codé sur 8 bits avant d'être transmis à un débit de 64 kbit/s. Le débit de transmission résultant, dit débit primaire, est de 2048 Kbits/s lorsque 30 canaux de communications sont ainsi multiplexés.

Cependant, la demande toujours plus importante de bande passante a nécessité l'introduction de niveaux de multiplexage supplémentaires, ce qui a conduit à la définition de la hiérarchie numérique plésiochrone PDH. La définition de cette hiérarchie a été réalisée indépendamment aux États-Unis, en Europe et au Japon, ce qui rend très difficile l'interopérabilité des équipements. De plus, l'insertion et la suppression d'un canal de 64 kbit/s au sein d'un niveau de multiplexage supérieur sont des opérations très coûteuses car elles requièrent 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). Conçue pour les hauts débits, hautement normalisée au plan international, la technique SDH offre aujourd'hui des solutions de transport totalement maîtrisées, sécurisées et compétitives. Cette technologie conduit à l'heure actuelle à la mise en place de réseaux (backbone) à très grande capacité dans beaucoup de pays.

Cette dernière décennie, à l'instar des autres pays, l'Algérie a connu une évolution spectaculaire dans le domaine de la téléphonie. La venue des différents opérateurs et leur déploiement sur tout le territoire (ou presque), a provoqué une poussée spectaculaire du nombre d'abonnés. Chacun d'eux a vu ce nombre doublé ou triplé en un temps record.

MOBILIS, l'un de ces opérateurs, afin d'offrir à ces clients les meilleurs services, s'est vu obligé de renforcer et de moderniser son réseau de télécommunication par la mise en œuvre de nouveaux backbones de grande capacité.

La thèse est organisée de la manière suivante. Dans le premier chapitre, nous rappelons les différentes techniques et supports de transmissions utilisés en télécommunications.

La hiérarchie numérique synchrone est présentée dans le deuxième chapitre où nous développons plus en détail son fondement théorique.

Dans le troisième chapitre, une présentation du réseau SDH algérien sera faite.

Enfin, le quatrième chapitre est consacré à une réalisation pratique d'un Backbone SDH sur la wilaya de Tizi-Ouzou.

CHAPITRE 1

**SUPPORTS ET TECHNIQUES DE
TRANSMISSION**

1.1. Introduction

De nos jours, les communications jouent un rôle primordial tant par la place qu'elles occupent dans le quotidien de chacun, que par les enjeux économiques et technologiques dont elles font l'objet. Le besoin sans cesse d'augmenter les débits de transmission tout en gardant ou en améliorant la qualité de ceux-ci ont poussé à établir différentes techniques de transmissions pour adapter le signal à son support de transmission. C'est dans la course au débit et à la fiabilité que les systèmes de transmission sur fibre optique ont émergé et amené à imaginer un bouleversement complet de la structure des réseaux de télécommunications existants.

En effet, la bande potentielle de la fibre optique, plusieurs dizaines de terahertz, est sans commune mesure avec celle de tous les supports de transmissions utilisés auparavant. Il en résulte la possibilité de concevoir des réseaux à très grande capacité et dotés d'une grande flexibilité.

Un certain nombre de techniques permettent de transmettre un signal quelque que soit sa nature. Nous rappelons, dans un premier temps, les principaux supports de transmission, leur intérêt, mais aussi leurs limites en ce qui concerne leur application.

Nous présenterons ensuite quelques une de ces techniques qui sont à la base de la SDH qui sera développée durant la thèse.

1.2. Les supports de transmission

De nombreux supports sont utilisés en transmission de données. Ils exploitent les propriétés de conductibilité des métaux (paires torsadées, coaxial), celles des ondes électromagnétiques (faisceaux hertziens, guides d'ondes, satellites) ou encore celles du spectre visible de la lumière (fibre optique). Généralement on les classe en deux catégories :

1.2.1. Les supports guidés

1.2.1.1. La paire symétrique (ou torsadée)

Le câble symétrique est constitué d'un nombre souvent grand de paires de fils isolés et toronnés (torsadés) (fig 1.1) de façon à réduire les couplages inductifs entre les paires. Le tout est protégé des influences extérieures par un manteau.

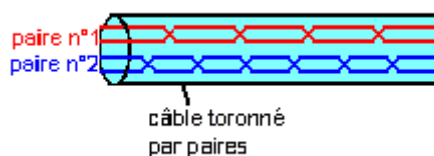


Fig 1.1 : Câble toronné

Ces paires présentent les particularités suivantes :

- **Isolation** : l'isolant le plus communément utilisé pour les câbles téléphoniques est un papier spécial (cellulose) en ruban, enroulé obliquement autour de chaque conducteur avec une fine feuille de papier intercalée.
- **Conducteurs** : le cuivre reste le matériau le plus favorable, tant au point électrique que pour ses qualités d'usage. L'aluminium donne des câbles plus légers et plus économiques, mais beaucoup plus difficiles à souder, en particulier sur le terrain.
- **Toronnage** : les quatre fils correspondant à deux paires sont toronnés ensemble pour constituer *une quarte*. Ce type est appelé *quarte-étoile*. Un autre type, appelé *quarte DM* (du nom des ses inventeurs Dieselhorst-Martin) ou quarte à paires combinables, est généré par toronnage de paires préalablement toronnées avec des pas différents.
- **Manteau** : son rôle est de protéger les quartes contre des influences mécaniques, chimiques ou électriques extérieures. Le plomb est encore très apprécié malgré son poids. L'aluminium ne présente pas ces inconvénients, mais sa technologie est plus complexe et il est sensible à la corrosion basique.

1.2.1.1.1. Domaine d'utilisation

Leurs principales applications sont :

- § Les câbles d'abonnés avec des nombres de paires pouvant aller jusqu'à 2400, voire 3200.
- § Les câbles urbains intercentraux avec plusieurs centaines de paires.
- § Les câbles ruraux à moyenne distance, qui sont aussi utilisés pour les systèmes multiplex numériques à 2.048 Mbits/s.

1.2.1.2 Le câble coaxial

La paire coaxiale est constituée de deux conducteurs concentriques. Le conducteur extérieur est mis à terre, tandis que celui de l'intérieur est isolé et centré à l'aide d'un matériau diélectrique.

Le conducteur intérieur est presque toujours un fil de cuivre, celui de l'extérieur est un tube fait de rubans de cuivre ou d'aluminium.

Un câble coaxial est constitué d'une partie centrale (appelée *âme*), c'est-à-dire un fil de cuivre, enveloppé dans un isolant, puis d'un blindage métallique tressé et enfin d'une gaine extérieure (fig 1.2).

- La gaine permet de protéger le câble de l'environnement extérieur. Elle est habituellement en caoutchouc (parfois en Chlorure de polyvinyle (PVC), éventuellement en téflon).

- Le blindage (enveloppe métallique) entourant les câbles permet de protéger les données transmises sur le support des parasites (autrement appelés *bruit*) pouvant causer une distorsion des données.
- L'isolant entourant la partie centrale est constitué d'un matériau diélectrique permettant d'éviter tout contact avec le blindage, provoquant des interactions électriques (court-circuit).
- L'âme, accomplissant la tâche de transport des données, est généralement composée d'un seul brin en cuivre ou de plusieurs brins torsadés.

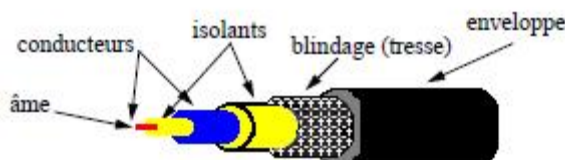


Fig 1.2 : Composition du câble coaxiale

1.2.2.2.1 Domaine d'utilisation

Pendant plus d'un demi-siècle, ces câbles ont été le milieu de transmission à grande distance par excellence. Ils ont été utilisés d'abord pour des systèmes téléphoniques analogiques de capacité jusqu'à 10 800 voies par paire, puis pour des systèmes numériques jusqu'à 565 Mbits/s ou d'autres signaux à large bande (télévision par câble).

Pour de nouvelles installations, les paires coaxiales sont de plus en plus systématiquement remplacées par des fibres optiques.

1.2.1.3. La fibre optique

Les systèmes optiques de transmission sont de plus en plus fréquemment utilisés en technique de transmission. Ils permettent de construire, sans régénérateur, des sections de transmission pouvant atteindre 100 km et plus pour des débits de l'ordre des Gbit/s.

L'intérêt pour les fibres optiques prit naissance après la découverte du laser et des émetteurs de lumière à semi-conducteur tels que la diode électroluminescente (DEL) qui datent de 1958. Les fibres optiques devenaient utilisables puisqu'on pouvait y introduire un rayon lumineux intense, cohérent, monochromatique (compose d'une seule longueur d'onde) et avec une faible ouverture angulaire.

1.2.1.3.1. Constitution d'une fibre

La fibre optique qui se présente comme un fil fin de verre est en réalité constituée d'un cœur cylindrique en matériau transparent d'indice de réfraction n_1 , entouré d'une gaine concentrique constitué d'un matériau ayant un indice de réfraction n_2 inférieur à n_1 (fig 1.3).

Le diamètre du cœur varie de 8-10 μm à 50 μm selon le type de fibre. Celui de la gaine est de 125 μm .

Les valeurs typiques d'indices de réfraction sont :

- Cœur : $n_1 \cong 1,48$
- Gaine : $n_2 \cong 1,46$

La fibre est protégée extérieurement par un revêtement de protection qui rend la fibre souple et manipulable, une ou plusieurs gaines en silicone ou en acrylate sont appliquées directement sur la gaine optique lors de l'étirage. Sans cette couche protectrice, la fibre serait cassante comme du verre.

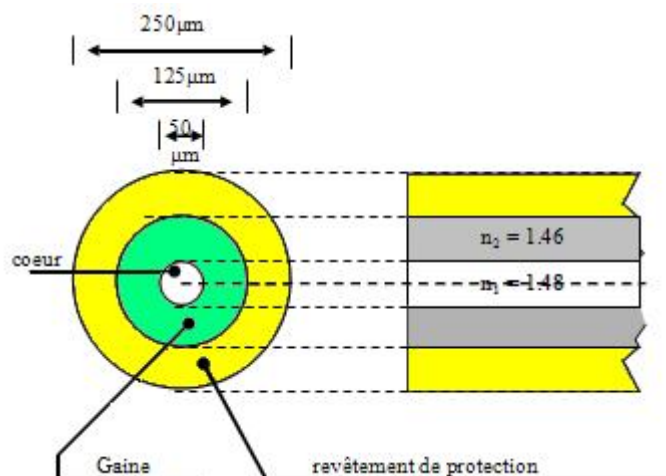


Fig 1.3 : Structure de la fibre optique

1.2.1.3.2. Transmission sur fibre optique :

Les caractéristiques des télécommunications sur fibres optiques dépendent du support de transmission, qui doit avoir des distorsions et des atténuations de faibles valeurs, et du type de dispositif électronique utilisé pour la transmission de la lumière et sa détection (source et récepteur optique) (fig 1.4).

Le choix de la fibre optique est le 1^{er} stade pour la réalisation d'une liaison optique, puis vient le choix des éléments optoélectroniques d'émission et de réception.

Les dispositifs actuellement utilisés dans les systèmes de transmission sur fibres optiques sont réalisés avec des matériaux semi conducteurs, qui ont une caractéristique à émettre une énergie lumineuse (sources DEL ou LAZER) ou à générer un courant électrique proportionnel à l'énergie lumineuse reçue (photo détecteurs PIN ou APD).

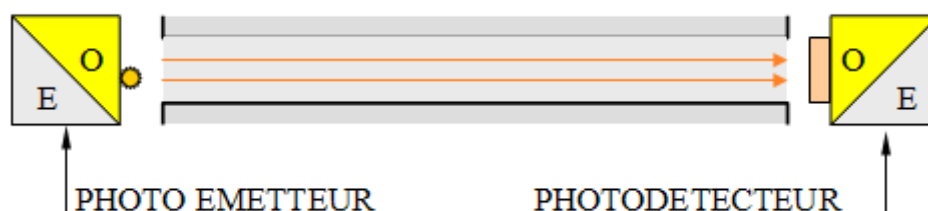


Fig 1.4 : Structure d'une liaison sur fibre optique

Le principe de base de la fibre optique repose sur le guidage d'un rayon lumineux par réflexion totale (fig 1.5). Une onde lumineuse traversant une frontière entre deux milieux de densité différente est déviée. La lumière est réfléchiée dans le cœur de la fibre car l'indice n_1 du cœur est supérieur à l'indice n_2 de la gaine ($n_1 > n_2$).

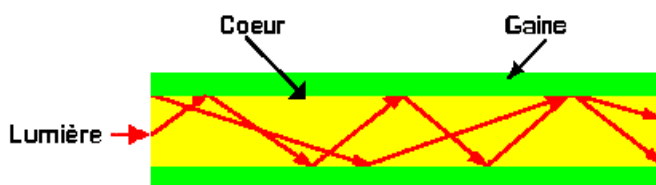


Fig 1.5 : Principe du guidage optique

1.2.1.3.3. Les types de fibre

1.2.1.3.3.1. Fibre multimode à saut d'indice

Dans ce type de fibres (fig 1.6), l'indice de réfraction du cœur est constant, il y a un changement brusque de l'indice de réfraction entre le cœur et la gaine. L'élargissement de l'impulsion de sortie est proportionnel à la distance parcourue. Ce phénomène limite les utilisations de la fibre à saut d'indice à de courtes distances et à des quantités d'informations relativement faibles (10 à 50 MHz.km). Cette limitation est essentiellement due à la dispersion modale. Selon l'angle d'incidence des rayons lumineux introduits dans la fibre, la longueur du trajet parcourue par le rayon varie sensiblement.

Lorsqu'une impulsion lumineuse est injectée dans une fibre, un décalage temporel entre les différents modes apparaîtra à l'autre bout, entraînant un élargissement de l'impulsion (phénomène appelé dispersion chromatique). Il y a plusieurs parcours possibles du rayon lumineux dans la fibre d'où le terme de multimode.

Le diamètre du coeur est de 50 μm et de 125 μm pour la gaine. Une telle fibre est rarement utilisée.

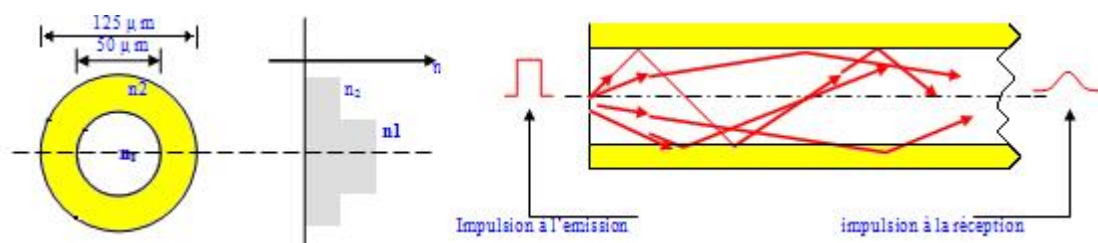


Fig 1.6 : Fibre multimode à saut d'indice

1.2.1.3.3.2. Fibre multimode à gradient d'indice

Afin d'éviter une trop grande limitation de la bande passante (200 à 1500 MHz.km), des fibres dont le coeur est dit à "gradient d'indice" (fig 1.7) ont été développées. L'indice de réfraction diminue graduellement du centre du coeur vers la gaine (en général, la diminution suit une courbe parabolique) provoquant une augmentation de la vitesse de propagation des rayons lumineux situés à la périphérie du coeur par rapport à celle des rayons se propageant au centre de celui-ci. Les rayons lumineux présentent une allure sinusoïdale. Il y a toujours plusieurs parcours possibles du rayon lumineux dans la fibre mais les temps de parcours des différents modes sont similaires.

Le diamètre du coeur est de 50 μm ou 62,5 μm et de 125 μm pour la gaine. On utilise ce type de fibre dans les réseaux LAN.

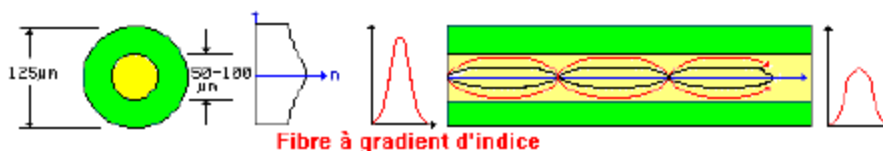


Fig 1.7 Fibre multimode à gradient d'indice

1.2.1.3.3.3. Fibre monomode

La fibre monomode (fig 1.8) est un cas particulier de la fibre multimode à saut d'indice. Plus le coeur de la fibre est fin, moins la différence de trajet entre les divers modes de propagation de la lumière est grande. Si le coeur ne dépasse pas quelques micromètres, il n'y a plus qu'un mode de propagation, et la dispersion modale devient nulle. Il n'y a plus qu'un parcours possible du rayon lumineux dans la fibre d'où le terme de "monomode". C'est la solution idéale en ce qui concerne la bande passante transmise, presque infinie (>10 GHz.km).

Le diamètre du coeur est d'environ de 10 μm et de 125 μm pour la gaine. On trouve ce type de fibre dans les réseaux MAN et WAN.

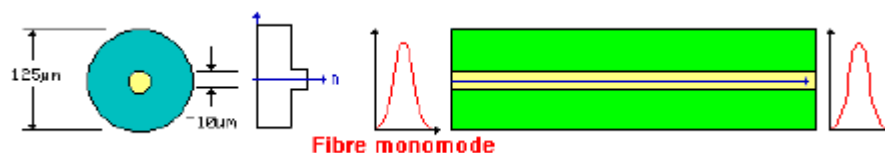


Fig 1.8 Fibre monomode

Le tableau 1.1 résume quelques caractéristiques des fibres utilisées dans les réseaux actuels.

Type de fibre	Norme de référence	Largeur de bande	Atténuation	Longueur d'onde	Portée pratique
Multimode à saut d'indice	CCITT A2	50 MHz/Km	3 dB/Km	0.85 µm	10 Km
Multimode à gradient d'indice	CCITT A1	1 GHz/Km	0.7 dB/Km	1.30 µm	30 Km
monomode	CCITT B	50 GHz/Km	0.4 dB/Km	1.55 µm	50 Km

Tableau 1.1 caractéristiques des fibres

1.2.1.3.4. Caractérisation de la fibre optique

1.2.1.3.4.1. L'ouverture numérique

Le paramètre Ouverture Numérique (O.N) est un indice de la capacité de la fibre à accepter le signal optique à l'entrée, il permet de définir pour chaque type de fibre l'angle γ_m correspondant à l'angle limite α_{lim} pour lequel les rayons lumineux émis dans la fibre sont complètement acceptés comme des rayons utiles si leur angle d'incidence γ est inférieur à γ_m (fig 1.9).

Par contre les rayons qui rentrent dans la fibre avec un angle d'incidence supérieur à γ_m seront réfractés dans la gaine, ayant pour conséquence une dispersion de l'énergie lumineuse.

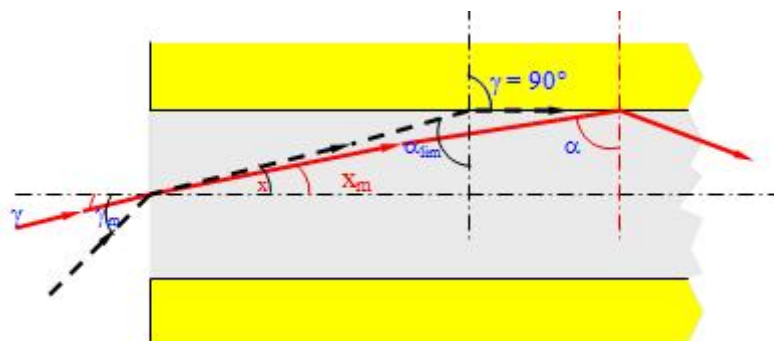


Fig 1.9 : Ouverture Numérique de la fibre optique

Il est à noter que l'ouverture numérique est une quantité sans dimension avec des valeurs typiques comprises entre 0,14 et 0,50. Son expression est :

$$O.N = \sin \gamma_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

1.2.1.3.4.2. L'atténuation dans la fibre

Les fibres optiques, comme tout milieu de propagation, atténuent l'intensité de l'onde qui s'y propage.

Les pertes sont majoritairement induites par l'absorption et par la diffusion Rayleigh, en raison des impuretés et des micro-défauts de structure du matériau. Toutes ces pertes dépendent de la longueur d'onde (fig 1.10). Elles sont caractérisées par le coefficient d'atténuation α , déterminé à partir des puissances d'entrée P_E et de sortie P_S de la lumière se propageant dans une fibre de longueur L . Ce coefficient s'exprime généralement en dB/km.

$$\alpha_{\text{dB/km}} = \frac{10}{L} \log \frac{P_E}{P_S}$$

L'atténuation typique des fibres classiquement utilisées en télécommunications est de 0,2 dB/km à 1550 nm. À cette valeur s'ajoutent les pertes dues aux conditions d'utilisation : les pertes par micro-courbures (dus au conditionnement de la fibre) ainsi que les pertes dues aux épissures (raccords entre deux fibres).

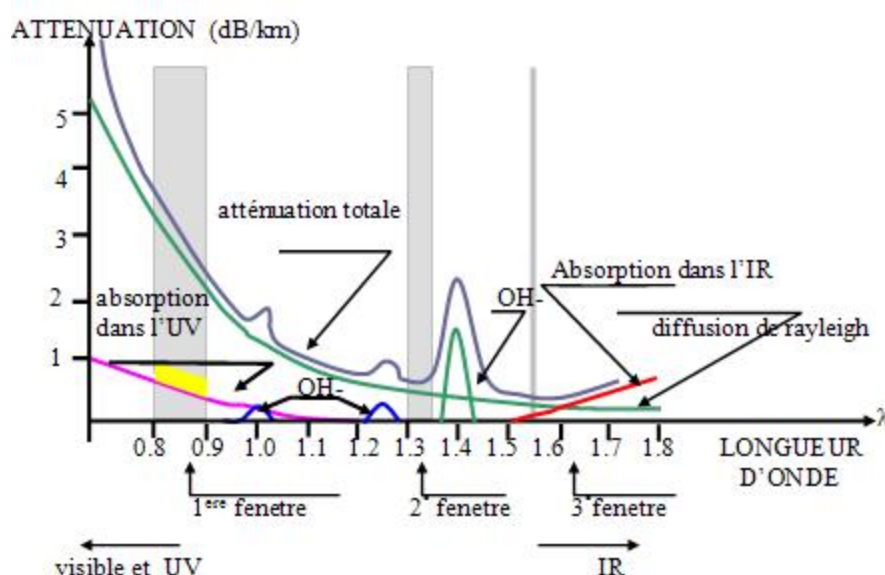


Fig 1.10 : Courbe d'atténuation de la fibre optique

1.2.1.3.4.3. Dispersion

La dispersion est une expression de l'étalement dans le temps que subissent de brèves impulsions lumineuses émises dans la fibre. Ces causes sont principalement

- la dispersion modale due aux différences de retard des modes ayant parcouru des trajets de longueur différente ;
- la dispersion chromatique causée par la variation de l'indice de réfraction du coeur en fonction de la longueur d'onde.

1.2.1.3.5. Avantages de la fibre optique

Le système de transmission à fibres optique offre des avantages révolutionnaires dans la technologie des télécommunications d'aujourd'hui dont il faut mentionner en particulier :

- les fibres sont de petites dimensions, ce qui permet la construction de câbles très petits, légers, souples et de plus très solides ;
- les possibilités de transmission, principalement numériques, assurent pour l'avenir une grande réserve de capacité (10 à 100 fibres) à hauts débits (>Gbit/s) ;
- le support de transmission est un diélectrique qui entraîne une insensibilité aux parasites électromagnétiques et une très bonne isolation électrique entre les deux extrémités de la liaison ;
- les prix de la fibre reste faible, car la matière de base utilisée, la silice (verre très pur composé de dioxyde de silicium), est très abondante sur la terre ;
- les moyens actuels de production permettent déjà l'obtention de fibres optiques ayant un affaiblissement très réduit. Les valeurs rendent possible la réalisation de liaisons de plusieurs dizaines de kilomètres sans amplificateurs ni régénérateurs ;
- il n'y a pas de diaphonie avec l'emploi des fibres optiques.

1.2.1.3.6. Inconvénients de la fibre optique

L'emploi de la fibre optique présente quelques inconvénients qui permettent d'utiliser avec succès le câble cuivre.

- les interfaces électriques/optiques ainsi que les connecteurs sont d'un prix élevé ;
- dispersion chromatique (élargissement du signal entre le début et la fin de la fibre) ;
- apporter un grand soin à l'exécution des raccords ;
- dans des conditions d'exploitation normale, les émetteurs laser de système de transmission optique ou d'équipements de mesure optique fonctionnent à une puissance qui ne met pas en danger les yeux des opérateurs. Cependant, dans des cas de dérangements inhabituels, la puissance rayonnée peut parfois s'élever pendant un certain temps à

un multiple de la puissance nominale et provoquer des brûlures de la rétine. Ainsi, il est recommandé d'apposer à proximité des extrémités des câbles à fibres optiques des signaux de mise garde et d'avertissement.

1.2.1.3.7. Applications de la fibre optique

Ces avantages sont exploités tout particulièrement dans les domaines suivants :

- liaisons téléphoniques interurbaines ;
- surveillance vidéo du trafic routier et ferroviaire ;
- communications militaires ;
- réseaux informatiques LAN, MAN et WAN ;
- réseau RNIS.

1.2.2. Les supports libres

Les supports libres utilisent, sans l'aide d'un support matériel, la propagation des ondes électromagnétiques, et ont l'avantage de ne pas nécessiter de lourds travaux d'infrastructure.

1.2.2.1. Atmosphère terrestre

L'atmosphère constitue un milieu complexe pour la propagation des ondes électromagnétiques. Elle est constituée de trois régions superposées principales :

- Ø la troposphère (altitude inférieure à 15 Km) caractérisée par sa turbulence (vent), la présence de vapeur d'eau (nuages) et une diminution de la température avec l'altitude ; on y constate un gradient de l'indice de réfraction qui a pour effet de courber la trajectoire des ondes électromagnétiques en direction du sol.
- Ø La stratosphère (altitude de 15 à 40 Km), pratiquement dépourvue de vapeurs d'eau et dont la température croît avec l'altitude avant de se stabiliser.
- Ø L'ionosphère (altitude de 40 à 500 Km) qui présente des couches ionisées dont la densité d'ionisation dépend fortement de l'heure, de la saison. Cette région joue un rôle important dans la propagation des ondes électriques. Elle est le siège de phénomènes de réfraction, de réflexion et d'absorption.

Le tableau 1.2 résume les désignations conventionnelles des gammes de fréquence et leurs principales applications en télécommunications.

Radiodiffusion sonore				Radiodiffusion télévisuelle				Systèmes de télécommunications			
Ondes longues (OL)	Ondes moyennes (OM)	Ondes courtes (OC)	Ondes ultracourtes	Bande I	Bande III	Bande IV	Bande V	Faisceaux hertziens	Satellites	Télégraphie et téléphonie	Radio communications mobiles
150-285 KHz	225-1605 KHz	4-26 MHz	87.5-108 MHz	41-68 MHz	174-216 MHz	470-605 MHz	606-960 MHz	0.25-22 GHz	3-30 GHz	1.6-30 MHz	80-460 MHz

Tableau 1.2 les gammes d'ondes

1.2.2.2. Les faisceaux hertziens

Un faisceau hertzien est un système de transmission de signaux directement entre deux points (fig 1.11). Il utilise des ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives. Les dimensions de ces antennes deviennent extrêmes en dessous de la bande [0.250-22] GHz.

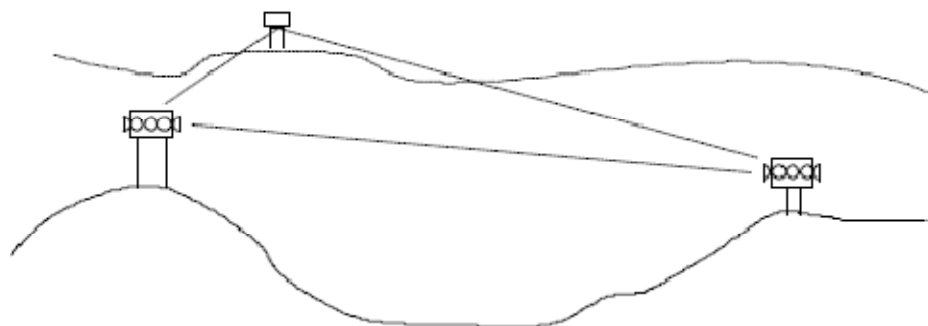


Fig 1.11 Liaison par faisceaux hertziens

Le faisceau hertzien est surtout utilisé pour couvrir en point à point de petites distances et pour raccorder des équipements informatiques mobiles. Ils sont caractérisés par :

- Transmission hertzienne (par onde électromagnétique) entre deux points fixes
- Bords de l'ordre de 20 à 100 km.
- Antennes très directives (antennes paraboliques ou antennes Yagi).
- Puissances émises relativement faibles (< 20W).
- Systèmes analogiques (FM) ou numériques (PSK).
- Domaine de fréquence: 250 MHz à 40 GHz (principalement 2 à 20 GHz).

- Fonctionnement en visibilité directe, éventuellement avec relais passifs.

Les faisceaux hertziens de télécommunications transportent les différents échelons de la hiérarchie numérique plésiochrone (2/8/34 et 140 Mbit/s), ou 1.5/6/45 Mbit/s en hiérarchie américaine, et le premier échelon de la SDH (155 Mbit/s). Ceci permet leur interconnexion, au niveau des jonctions normalisées électriques ou optiques, avec le reste du réseau. Sur des liaisons à forte capacité, chaque faisceau émet de 4 à 12 canaux multiplexés en fréquence.

1.2.2.3. Les liaisons satellitaires

Une station terrestre émet vers le satellite un flux d'informations (voie montante). Le satellite n'est qu'un simple répéteur. Il régénère les signaux reçus et les réémet en direction de la terre (voie descendante).

Elles permettent de réduire le nombre de points hertziens grâce à leur grande couverture et sont utilisées en télécommunication pour les liaisons nationales, internationales et intercontinentales. Elles réalisent des réseaux de diffusion (plusieurs récepteurs possibles pour un seul émetteur).

1.2.3. Comparaison des milieux de transmission

Les câbles (optiques ou à paires métalliques, symétriques ou coaxiales) et les faisceaux d'ondes dirigés (faisceaux hertziens terrestres ou par satellite) sont deux milieux de transmission concurrentiels dans le réseau de télécommunications interurbain et international, quelquefois même sur le plan local. Les avantages des câbles sont :

- milieu de transmission stable, connu et optimisable ;
- protection contre l'interception ou le brouillage malveillant ;
- possibilité de réutilisation de la même bande de fréquence sur des paires distinctes du même câble ;
- densité et extension du réseau illimitées, sans risque d'interférences entre câbles ;
- durée d'exploitation (40 à 50 ans) et fiabilité élevées.

A l'avantage des faisceaux d'ondes, il faut mentionner les points suivants :

- ils permettent des liaisons avec des endroits isolés, d'accès difficile (déserts, haute montagne, îles) ;
- les équipements peuvent être transportables ;
- la construction est plus rapide, pour autant que l'infrastructure de génie civil existe déjà (tour, bâtiments).

Le tableau 1.3 fait la synthèse et une comparaison des supports de transmission.

Support	Câbles à paires symétriques	Câbles à paires coaxiales	Fibres optiques	Ondes radio
Propagation	guidée	guidée	guidée	libre
Bande passante	limitée (KHz à MHz)	élevée (centaines de MHz)	très élevées (GHz)	limitée par l'encombrement des fréquences
Atténuation	forte	augmente avec la fréquence	très faible	Faible mais variable
Sensibilité à la diaphonie et aux brouillages	forte	faible	nulle	forte
Confidentialité	limitée	correcte	élevée	nulle
Coût du support	faible	élevé	assez faible	nul
Coût des interfaces	très faible	faible	élevé	assez faible
Transmission d'énergie	oui (électrique)	oui (électrique)	énergie lumineuse	nom

Tableau 1.3 Comparaison des supports de transmission

1.3. Les procédés de transmission

1.3.1. Principe et buts de la modulation

1.3.1.1. Définition de la modulation :

La modulation est une opération qui consiste à transposer un signal représentant une information en un autre signal sans modifier sensiblement l'information qu'il porte.

Ceci dans les buts suivants :

- ✓ adaptation aux conditions particulières d'un milieu de transmission.
- ✓ multiplexage, c'est - à dire utilisation du même milieu de transmission par plusieurs communications.

1.3.1.2. Principe de la modulation

Par la modulation, un signal primaire $u_1(t)$ (signal modulant), est transposé en un signal secondaire $u_2(t)$ (signal modulé) (fig 1.12).

L'opération inverse est effectuée lors de la démodulation.

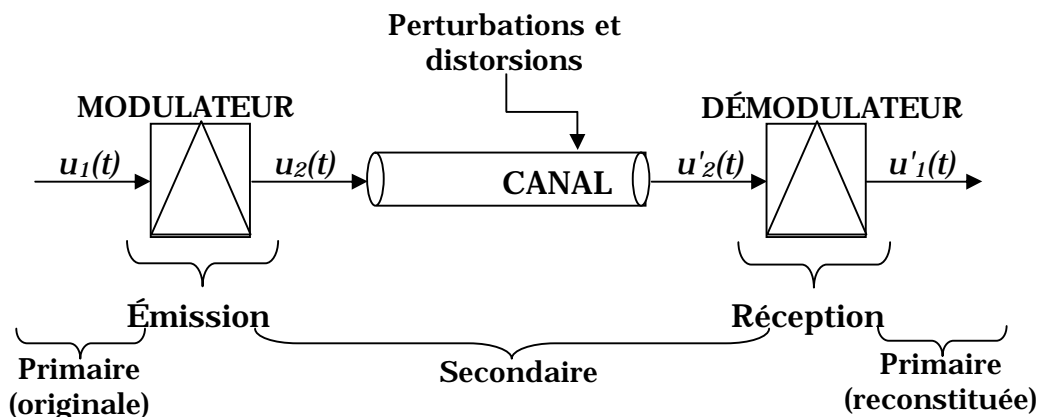


Fig 1.12 Schéma-bloc d'une transmission avec modulation

Du fait, d'une part, des distorsions et des perturbations dans le canal qui font que le signal reçu $u'_2(t)$ est un peu différent du signal émis $u_2(t)$ et, d'autre part, de l'imparfaite réciprocity du modulateur et du démodulateur, le signal primaire reconstitué $u'_1(t)$ n'est pas rigoureusement identique au signal primaire original $u_1(t)$. L'effet de ces imperfections dépend beaucoup du type de modulation et constitue un des critères de comparaison qui permettent de choisir la modulation la plus appropriée dans chaque cas.

1.3.1.3 Types de modulation

On distinguera ici deux grandes catégories de modulations :

- ∅ Les modulations analogiques, dans lesquelles la convention de modulation consiste à faire varier un paramètre (amplitude, fréquence, phase, durée, etc.) du signal secondaire proportionnellement à la valeur instantanée du signal primaire.
- ∅ Les modulations numériques qui opèrent une conversion analogique/numérique entre $u_1(t)$ et $u_2(t)$. Le signal secondaire est alors caractérisé par un débit binaire et la convention de modulation devient un code de représentation numérique d'information analogique.

Le tableau 1.4 résume les différents types de modulation.

Modulation	Information transmise	Forme de la porteuse	Paramètre modulé	Types de modulation
<i>analogique</i>	Analogique -parole -musique -vidéo	sinusoïde	amplitude	AM
				SSB (BLU)
			fréquence	FM
		phase	ϕM	
		impulsions	amplitude	PAM
			fréquence	PFM
	phase		PPM	
	durée		PDM	
	Numérique -données -textes	sinusoïde	amplitude	ASK
				OOK
fréquence			FSK	
		phase	PSK	
<i>numérique</i>	Analogique →numérique	Signal d'horloge	code	PCM
				DPCM
				ΔM
				$A\Delta M$

Tableau 1.4 Classification des modulations

1.3.2. Échantillonnage

L'échantillonnage d'un signal $u_1(t)$ consiste à remplacer ce signal par un autre signal $u_2(t)$ qui est :

- § égal en valeur instantanée à $u_1(t)$ pendant de brefs instants de durée τ , répétés périodiquement à l'aide d'une fréquence f_e , appelée fréquence d'échantillonnage ;
- § nul entre ces instants.

Le théorème de l'échantillonnage, dû à Shannon dans sa forme actuelle, constitue la base commune et créatrice de théories du signal, de l'information et de la communication. Son énoncé est rappelé ici : " *un signal primaire $u_1(t)$ qui ne contient que des composantes de fréquence inférieure à f_{1max} peut être entièrement déterminé par les échantillons équidistants, prélevés avec une fréquence f_e telle que : $f_e > 2f_{1max}$* ".

Pour la bande téléphonique conventionnelle, une fréquence d'échantillonnage de f_e a été quasi universellement choisie. Cette fréquence d'échantillonnage a été déterminée par l'UIT (Union International des Télécommunications) à 8KHz pour la transmission d'un signal vocal de 300-3400Hz. Ceci signifie que le signal de fréquence vocale est exploré 8000 fois par seconde ($T_e=125\mu s$).

1.3.3. Le multiplexage

1.3.3.1. Définition

Le multiplexage est l'opération qui consiste à grouper plusieurs voies, attribués chacune à une communication, de façon à les transmettre simultanément sur le même support physique (câble, fibre optique, etc.) sans qu'elles se mélangent ou se perturbent mutuellement. A la réception, un démultiplexage aussi parfait que possible doit permettre de séparer ces voies et de les restituer sous leur forme originale.

1.3.3.2. Multiplexage fréquentiel (FDM)

Dans le multiplexage fréquentiel (frequency division multiplex FDM), les z voies sont réparties sur l'axe des fréquences et disposent chacun d'une bande de fréquence individuelle, décalée par rapport à celles de ses voisines (fig1.13). Le multiplexage consiste donc en une juxtaposition fréquentielle des voies, alors que leurs signaux sont superposés dans le temps.

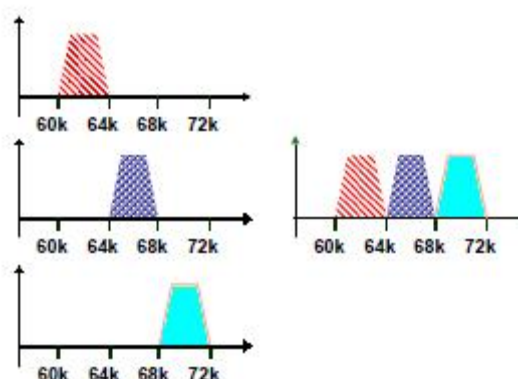


Fig 1.13 Multiplexage fréquentiel de z voies

1.3.3.3. Multiplexage temporel TDM

Le multiplexage temporel (time division multiplex TDM) consiste à répartir les z voies périodiquement dans le temps par l'intermédiaire d'une modulation d'impulsions, les impulsions correspondant à une voie étant intercalée par un échantillonnage synchrone des voies avec des impulsions décalées les unes par rapport aux autres.

Les z voies temporelles entrelacées forment une trame dont la durée correspond à la période d'échantillonnage T_e . La modulation d'impulsions utilisée peut être analogique (PAM, PPM) ou numérique (PCM).

Dans le multiplexage temporel, les voies sont juxtaposées dans le temps alors que leurs spectres sont superposés dans le domaine fréquentiel.

1.3.3.4. Multiplexage de codes CDM

Pour une transmission numérique, on peut aussi envisager de permettre aux z voies de transmettre leur information simultanément et dans la même bande de fréquences. La discrimination des z voies doit alors être faite par l'usage de codes orthogonaux entre eux (codes à intercorrélacion nulle). On obtient ainsi un multiplexage de codes (code division multiplex CDM).

1.4. La transmission numérique

1.4.1. Principe

La transmission numérique a pour objet la communication d'un point (émetteur) vers un autre (récepteur) d'une information discrète provenant d'une source qui ne dispose que d'un nombre fini n de caractères ("alphabet").

Par une convention préalable, le destinataire a connaissance de l'alphabet utilisé par la source. Il peut donc interpréter l'information qu'il reçoit en fonction de cet alphabet. Il compare les signaux reçus (déformés et perturbés par la transmission dans le canal) à la liste des caractères possibles et en déduit par une décision lequel de ces caractères est le plus probablement à l'origine du signal reçu.

L'information numérique transmise peut ainsi, régénérée intégralement à la réception. Toutefois, si la distorsion ou la perturbation des signaux reçus est telle qu'elle simule la présence d'un autre caractère, des erreurs de régénération irréversibles apparaissent. Leur probabilité est le critère principal d'appréciation de la qualité de transmission numérique.

1.4.2. La régénération

La régénération consiste à reconstituer aussi fidèlement que possible l'information numérique transmise par un signal après qu'il eut été affaibli, déformé et perturbé par son passage à travers un canal de transmission.

L'information ainsi reconstituée est donnée au destinataire (régénérateur terminal) ou transmise plus loin par un signal remis en forme (régénérateurs intermédiaires).

Le régénérateur traite les signaux qu'il reçoit de façon à les débarrasser autant que possible des perturbations qui les affecte, puis ils les interprète en fonction des m valeurs possibles dont il a connaissance par une convention préalable. Des seuils de décision logique lui permettent de différencier ces m valeurs et de tirer ainsi du signal l'information numérique qu'il porte.

1.4.3. Modulation numérique

1.4.3.1. Principe

Les modulations numériques, définies globalement auparavant, consistent à convertir une information analogique, portée par un signal à variations continues, en une séquence de caractères discrets, issus d'un alphabet fini de q caractères qui sont, dans ce cas, des nombres entiers (fig1.14).

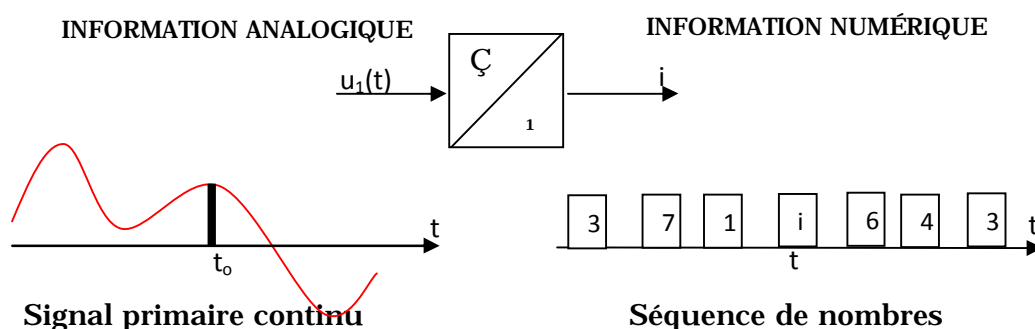


Fig 1.14 Principe de La modulation numérique

La modulation numérique est basée sur deux opérations fondamentales :

- le passage d'un signal continu dans le temps à une séquence discontinue implique *un échantillonnage* : seules les valeurs du signal à certains instants discrets, pas forcément périodiques, font l'objet de la modulation ;
- la réduction du nombre infini de valeurs possibles d'une grandeur analogique à un ensemble fini de nombres qui sont censés les représenter est le résultat d'une *quantification* ; cette opération constitue l'élément essentiel et fondamentalement original des modulations numériques.

1.4.2.2. La quantification

1.4.2.2.1. Définition

La quantification est l'approximation de la valeur instantanée exacte d'un signal par la plus voisine valeur tirée d'un assortiment de q valeurs discrètes, désignées chacune par un nombre entier.

Ainsi chacun de ces q nombres représente toute une plage de valeurs analogiques appelée *intervalle* ou *pas de quantification*, dont la valeur Δ_i peut être différente d'un intervalle à l'autre.

Des tests subjectifs ont conduit à exiger un rapport signal-sur-bruit de quantification $\geq 35\text{dB}$ de façon à garantir une bonne qualité de transmission de parole (tableau 1.5).

Rapport signal sur bruit	Qualité de la transmission
50dB	Excellent
40dB	Très bon
30dB	Bon
20dB	moyen
10dB	inexploitable

Tableau 1.5 *La qualité de transmission en fonction du rapport s/b*

1.4.2.2.1.1. Quantification uniforme

L'opération de quantification est dite uniforme (ou linéaire) si la largeur Δ de tous les intervalles de quantification est la même et, par conséquent, les niveaux de quantification équidistants.

1.4.2.2.1.2. Quantification non uniforme

La loi de quantification dans laquelle le pas de quantification Δ dépend de l'amplitude du signal est appelée non uniforme (ou non linéaire).

1.4.2.3. La compression

L'étape précédant la quantification porte le nom d'étape de *compression*.

On se rend intuitivement compte de ce que si le nombre de bits à transmettre par unité de temps est important (bits/sec), la bande requise sera également importante. Dès lors il est primordial de ne transmettre que le débit strictement nécessaire, ou encore, de supprimer au mieux la *redondance* incluse dans la séquence binaire obtenue. Les techniques visant à extraire la redondance portent le nom de techniques de *compression*.

1.4.2.3.1. Les lois de compression

a)- La loi A européenne :

Selon la proposition de la Conférence européenne des Postes et Télécommunications (CEPT), adoptée par le CCITT (actuellement UIT-T Rec. G 711), la caractéristique de compression logarithmique idéale a été approchée par le compromis suivant :

- ✓ segment logarithmique pour des amplitudes relatives situées entre $1/A$ et 1 ;
- ✓ raccordement à l'origine par un segment linéaire pour $x < 1/A$, tangent au segment logarithmique.

Son expression en amplitude relative, appelée loi A (fig 1.15.b), est :

$$y = \begin{cases} \frac{Ax}{1 + \ln A} & \text{si } 0 < x < \frac{1}{A} \\ \frac{1 + \ln Ax}{1 + \ln A} & \text{si } x > \frac{1}{A} \end{cases}$$

La pente du segment linéaire à l'origine est appelée taux de compression C. Il a été choisi égal à 16

$$C = \frac{A}{1 + \ln A} = 16$$

Il en résulte la valeur du paramètre $A = 87.6$.

b)- La loi μ américaine :

L'approximation de la loi de compression logarithmique idéale a donné lieu en Amérique à une autre solution, antérieure à la loi A européenne : la loi μ (fig 1.15.a), dont l'expression mathématique est :

$$Y = \frac{\ln(1+\mu x)}{\ln(1+\mu)} \quad \text{Pour } x > 0 \text{ avec } \mu=255$$

Cette caractéristique de compression a un comportement asymptotique

- linéaire, pour $x < 1/\mu$
- logarithmique, pour $1/\mu < x < 1$

Pour des raisons historiques et économiques, la loi μ fait aussi l'objet de la recommandation G 711 de l'UIT-T avec $\mu=255$. Selon cette loi, le taux de compression vaut :

$$C = \frac{\mu}{\ln(1 + \mu)} = 46$$

Le taux de compression à l'origine de la loi μ est plus fort que celui de la loi A et favorise donc les signaux de petite amplitude.

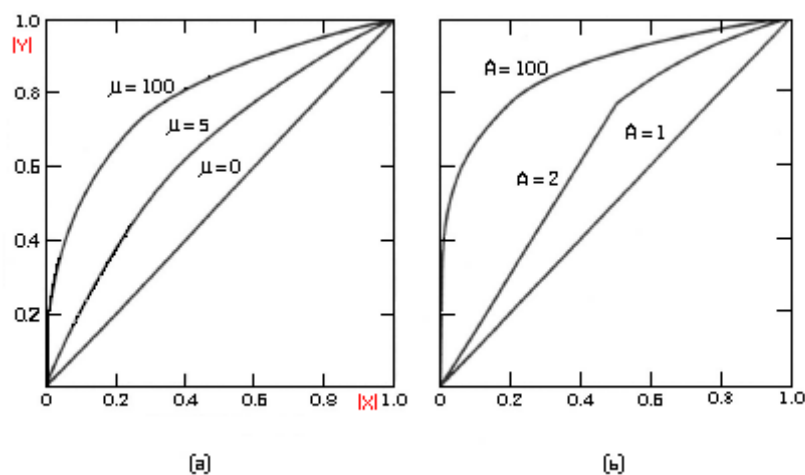


Fig 1.15 Lois de compression A et μ

1.4.2.4. Le codage

Le processus de quantification remplace la valeur exacte d'un échantillon par un nombre représentant l'intervalle dans lequel se trouve cette valeur. La transcription de ce nombre en une expression logique, généralement binaire, appelée mot PCM, constitue le codage et la table de correspondance entre les q intervalles numérotés et leur expression binaire définit le code. Le format des mots PCM est de 8 bits pour $q = 256$.

Le codage n'influence pas la qualité de la modulation proprement dite. Le choix du code est dicté par d'autres arguments :

- Ø Avantages technologiques pour la réalisation du codage ;
- Ø Facilité de réalisation du décodage ;
- Ø Conditions relatives à la transmission numérique des échantillons codés : bonne tenue en fréquence d'horloge, annulation de la composante continue, limitation du domaine fréquentiel occupé, etc.

1.4.2.4.1. Le code AMI

Les exigences concernant la composante continue et les basses fréquences sont satisfaites par un mode pseudo-ternaire AMI (Alternate Mark Inversion) dans lequel

- L'état binaire 0 est représenté par un signal nul
- L'état binaire 1 est représenté alternativement par un signal positif et négatif.

Il s'agit donc d'un mode antipolaire (des valeurs égales deux à deux, mais de signes opposés) et ternaire (trois valeurs possible : 0, 1, -1) (fig1.16).

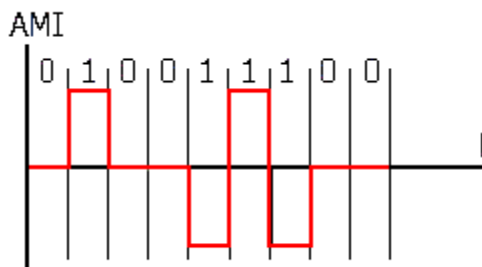


Fig 1.16 Principe du code AMI

L'inversion des bits pairs dans le processus de codage est inefficace en cas d'utilisation de voies numériques pour de la transmission de données, puisque ces informations numériques par nature, sont injectées dans la trame sans passer par le codeur. De longue suite de 0, impossibles à interdire, risquent alors de priver les régénérateurs de toute information de synchronisation. Afin d'éviter cela on utilise le code HDB3.

1.4.2.4.2. Le code HDB3

Les systèmes numériques européens font usage d'un mode pseudo-ternaire appelé mode à haute densité HDB3 (High Density Bipolar code) qui évite l'apparition de plus de trois moments nuls consécutifs (fig 1.17). Il consiste à remplacer des groupes de quatre 0 binaires consécutifs par des groupes de quatre moments ternaires dont le dernier est non nul et émis avec la même polarité que le dernier moment non nul, c'est-à-dire en violation de la loi d'alternance de polarité du mode AMI.

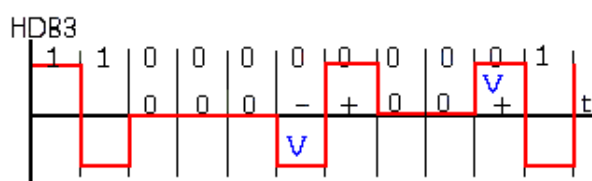


Fig 1.17 Principe du code HDB3

1.4.2.5. Les types de modulation numérique

La principale modulation numérique est la modulation par impulsions et codage (PCM ou MIC) qui constitue la base des nouveaux systèmes de transmission et de commutation. Elle est la combinaison des trois opérations suivantes (fig1.18) :

- ✓ L'échantillonnage
- ✓ La quantification
- ✓ Le codage

Les modulations numériques différentielles ne codent pas la valeur de chaque échantillon, mais la différence par rapport à l'échantillon précédent. Dans cette catégorie se trouvent *la modulation PCM différentielle (DPCM)* et sa forme la plus simple, *la modulation delta (DM)*.

Les modulations numériques adaptatives sont celles où la loi de correspondance entre les valeurs analogiques et leur représentation numérique dépend de ce qui s'est passé précédemment.

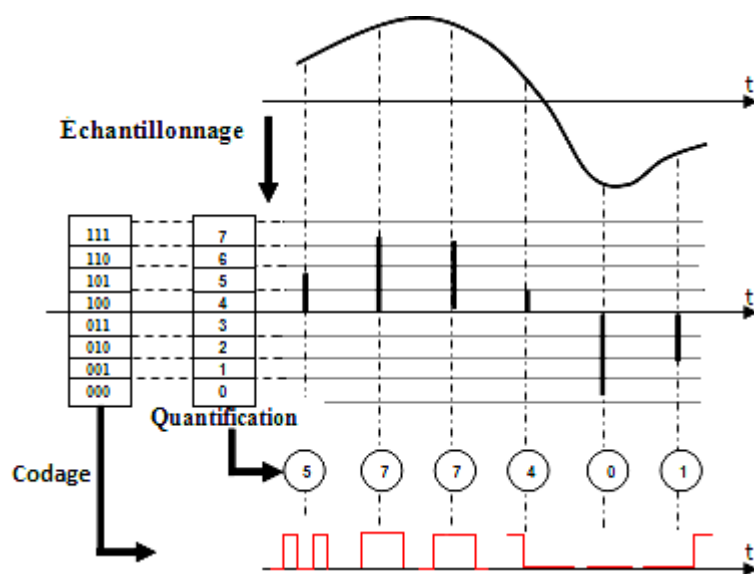


Fig 1.18 Étapes de la modulation MIC

1.5. Les systèmes numériques

On entend par un système numérique l'ensemble des moyens permettant de transmettre des informations sous forme numérique, d'un point à un autre. Ces informations peuvent être de nature numérique dès la source (données) ou, au contraire, provenir d'une source analogique (parole, musique, images, etc.) et avoir subi une conversion analogique-numérique par le moyen d'une modulation numérique.

Les principales caractéristiques d'un système numérique sont :

- Ü le débit binaire total ;
- Ü le nombre de voies ;
- Ü la structure de la trame ;
- Ü les paramètres de la modulation numérique utilisée (fréquence d'échantillonnage, loi de quantification, code) ;
- Ü les paramètres de la transmission numérique utilisée (milieu de transmission, débit, probabilité d'erreur, etc.).

L'intérêt principal des systèmes numériques est lié à la possibilité de régénération des informations qu'ils transmettent. Même en présence de perturbations importantes, la qualité de transmission peut rester bonne.

Un système numérique installé sur une ligne se compose des éléments principaux suivants (fig1.19) :

- § équipements terminaux aux deux extrémités de la liaison, dont la fonction principale est de constituer le multiplex temporel des z voies et de convertir les informations analogiques en messages numériques (codage et décodage) ; toutes les fonctions d'interface (signalisation, adaptation de niveau d'impédance, surveillance, synchronisation, etc.) sont aussi prises en charge par ces équipements ;
- § équipements de ligne (régénérateurs), répartis le long de la ligne à intervalles réguliers, ils opèrent une régénération des signaux porteurs d'information numérique.

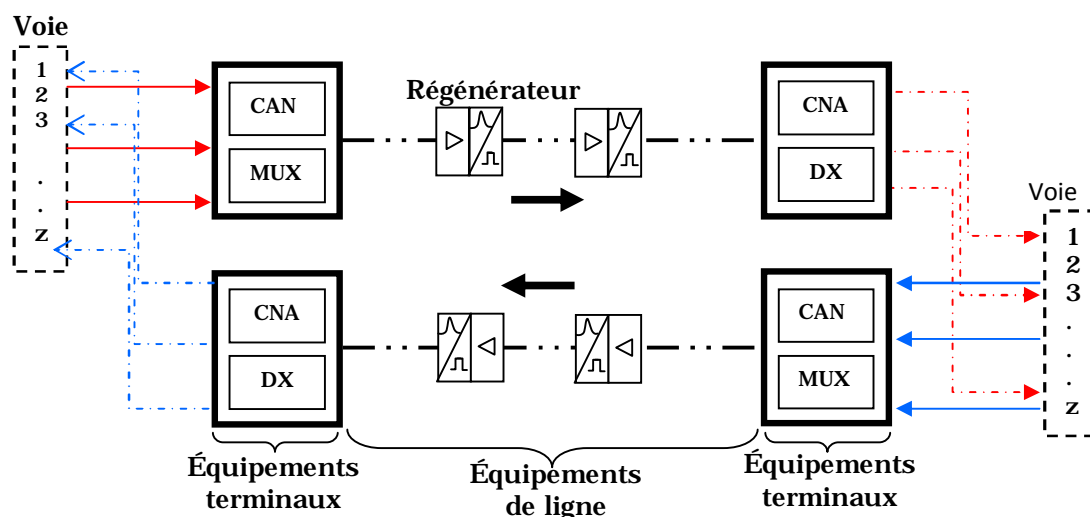


Fig 1.19 Structure d'un système numérique

1.5.1. Les systèmes multiplex primaires

Structure de trame du système MIC primaire (G. 704) :

Le système primaire européen est caractérisé par un débit binaire total de 2.048 Mbit/s résultant de la subdivision de la trame de $T_e = 125 \mu s$ en 32 intervalles de temps de 8 bits chacun (fig1.20).

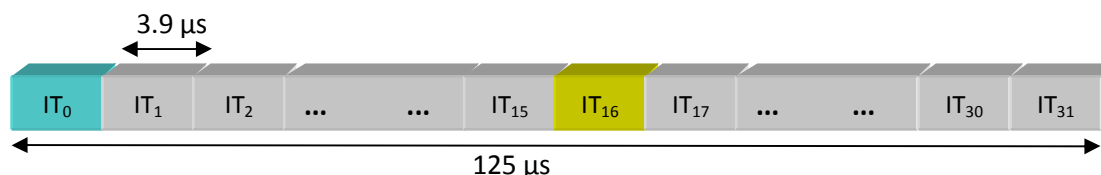


Fig 1.20 Structure de trame du système MIC primaire européen

- Ø Les intervalles IT_1 à IT_{15} , et IT_{17} et IT_{31} sont attribués aux 30 voies, correspondant chacun à un débit de 64 Kbits/s ;
- Ø L'intervalle de temps IT_0 est consacré une trame sur deux au motif de verrouillage VER. Dans l'autre trame, il porte le bit d'alarme annonçant la perte de verrouillage dans l'autre sens ;
- Ø La signalisation est de type hors octet, à raison de 4 bits par voie, groupés dans les deux moitiés de l'intervalle de temps IT_{16} . Il faut donc 15 trames pour porter la signalisation des 30 voies. Complétées par une 16^{ème} trame, elles constituent une multitrame. Chaque voie dispose donc pour sa signalisation de 4 bits toutes les 16 trames, c'est-à-dire toutes les 2 ms.

La trame primaire utilisée en Amérique de Nord et au Japon est différente. Elle dure aussi 125 μ s mais contient 24 octets de voies à 64 Kbits et un bit de synchronisation, d'où un débit de 1.544 Mbits/s. Le tableau 1.6 compare les deux systèmes.

Critères de comparaison	Système européen (Rec. G 704)	Système américain (Rec. G 704)
Fréquence d'échantillonnage	$f_e = 8 \text{ KHz}$	
Nombre de niveaux de quantification	$q = 256$	
Nombre de bits par échantillon	8	
Débit binaire par voie	64 Kbit/s	
Quantification	non uniforme	
Loi de quantification	$A = 87.6$	$\mu = 225$
Caractéristique de compression	à 13 segments	à 15 segments
Nombre d'IT	32	24
Nombre de voies	30	24
Nombre de bits/trame	$32 \times 8 = 256$	$(24 \times 8) + 1 = 193$
Débit binaire total	$256 \times 8 \text{ KHz} = 2.048 \text{ Mbits/s}$	$193 \times 8 \text{ KHz} = 1.544 \text{ Mbits/s}$

Tableau 1.6 Comparaison des deux systèmes primaires européen et américain

1.5.2. Hiérarchie numérique plésiochrone (PDH)

La hiérarchie numérique plésiochrone (PDH Plesiochronous Digital Hierarchy) a été réalisée et stabilisée durant les années 1960 et 1970. Elle trouve son origine dans le transport de signaux téléphoniques vocaux, convertis en canaux numériques à 64 Kbits/s (systèmes primaires).

Afin de constituer des systèmes de débit plus élevés, on effectue un multiplexage temporel de trames MIC, assemblées 4 par 4 (fig1.21). La difficulté provient de ce que les différentes trames, constituées parfois en différents points du réseau, ne sont pas toujours synchronisées. On pratique alors le multiplexage plésiochrone.

Dans cette technique, les différentes trames sont portées à un débit très légèrement supérieur au débit nominal, par l'insertion à des endroits réservés dans la trame, lorsque c'est nécessaire, de bits supplémentaires assurant principalement le verrouillage (synchronisation), les contrôles de

qualité et les justifications qui permettent l'emploi d'horloges légèrement différentes tout au long du transport.

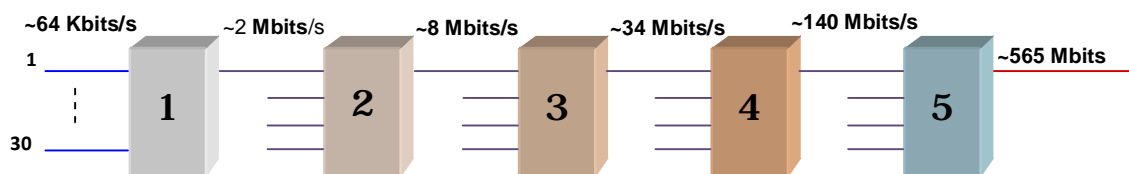


Fig 1.21 Hiérarchie plésiochrone des multiplex numérique

1.5.2.1. Définitions des débits : tableaux récapitulatifs

Les différents débits normalisés sont donnés dans les tableaux : 1.7, 1.8, 1.9.

Désignation	Nombre de voies utiles	Débit total en Mbits/s	Débit utile en Mbits/s	Précision $\times 10^{-6}$
Débit de base	1	0.064	0.064	100
E1	30	2.048	1,92	50
E2	120	8.448	8,192	30
E3	480	34.368	33,792	20
E4	1920	139.264	137,472	15
E5	7680	564.992	557,056	-

Tableau 1.7 Définition des débits : Europe

Désignation	Nombre de voies	Débit total en Mbits/s	Précision $\times 10^{-6}$
Débit de base	1	0.064	-
T1	24	1.544	50
T2=4xT1	96	6.312	30
T3=5xT2	480	32.064	10
T4=3xT3	1440	97.728	-

Tableau 1.8 Définition des débits : JAPON

Désignation	Nombre de voies	Débit total en Mbits/s	Précision x 10 ⁻⁶
Débit de base	1	0.064	100
T1/DS-1	24	1.544	50
T1C/DS-1C=2xT1C	48	3.152	-
T2/DS-2=4xT1	96	6.312	30
T3/DS-3=7xT2	672	44.736	20
T3C/DS-3C=2xT3	1344	91.053	-
T4/DS-4=6xT3	4032	274.175	-
T4C/DS-4C=2xT4	8064	655.120	-

Tableau 1.9 Définition des débits : ÉTAT-UNIS

Par ailleurs, la technologie PDH utilise un multiplexage bit à bit. Il faut multiplexer quatre liens E1 pour obtenir un lien E2, quatre liens E2 pour obtenir un lien E3 et quatre liens E3 pour obtenir un lien E4. Pour récupérer un lien E1 dans un train binaire E4, il est nécessaire de démultiplexer l'ensemble du flux (figure 1.22).

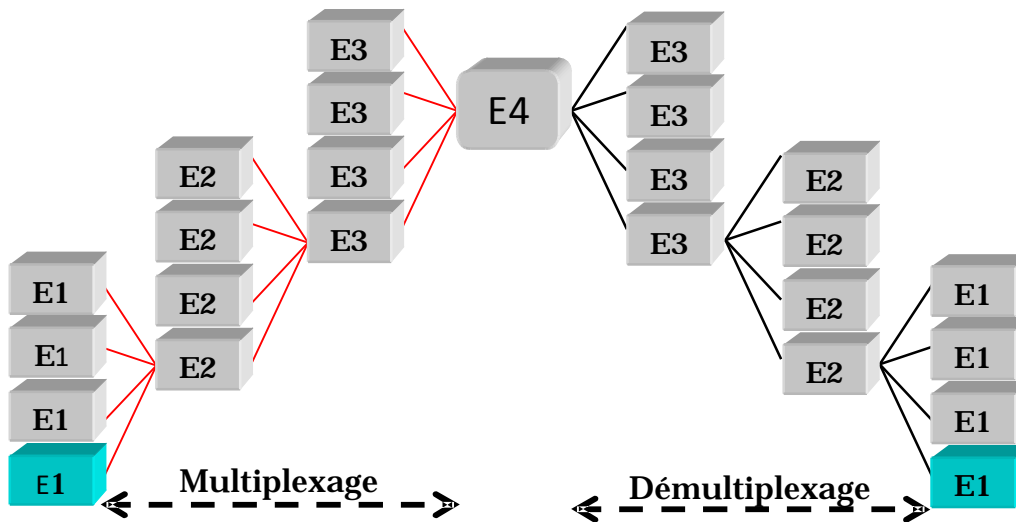


Fig 1.22 Multiplexage/Démultiplexage en PDH

De plus, la synchronisation de chaque émetteur avec chaque récepteur qui est une condition clef à une transmission sans erreur est parfois délicate à obtenir dans ce système où les horloges donnant le rythme sont réparties sur les émetteurs et les récepteurs et on se retrouve avec presque autant d'horloges différentes qu'il y a de machines différentes dans le réseau. Pour palier ces problèmes, une nouvelle hiérarchie de système de transmission a vu le jour : SDH (Synchronous Digital Hierarchy) en Europe et SONET (Synchronous Optical Network) aux USA.

1.5.3. Le réseau optique synchrone : SONET

Étudié initialement dans la société Bellcore (Bell Communications Research) par R.J. Bohn et Y.C. Ching, ce mécanisme de transport a été proposé au comité T1 de l'ANSI à la fin de 1984 et présenté à Hambourg en 1987 dans une réunion technique.

Le mot SONET est un acronyme de Synchronous Optical Network, c'est un ensemble de normes ANSI à l'origine de la SDH. C'est l'un des protocoles les plus répandus aux USA.

La première structure appelée STS-1 (Synchronous Transport Signal level 1) était une trame de 60 colonnes sur 13 rangés émise en 125 μ s soit un débit de 49.920 Mbits/s ; les deux premières colonnes portaient le SOH (Section Over Head) et la charge utile était sur les 58 restante.

Après discussion avec les représentants de l'Europe qui avaient fixé la composition de la STM-1 (débit de 155.520 Mbits/s ; trame de 270 colonnes x 9 rangées dont 9 colonnes de SOH), la STS-1 a été redéfinie de manière à pouvoir être incluse, en groupe de 3, dans la STM-1, permettant ainsi l'interconnexion des réseaux Américain et Européen (tableau 1.10).

OC level	STS level	SDH level	Débit total (Mbit /s)
OC-1	STS-1	-	51.84
OC-3	STS-3	STM-1	155.52
OC-12	STS-12	STM-4	622.08
OC-24	STS-24	STM-8	1244.16
OC-48	STS-48	STM-16	2488.32
OC-192	STS-192	STM-64	9953.28
OC-768	STS-768	STM-256	39813.12
OC-3072	STS-3072	STM-1024	159252.48

Tableau 1.10 Débit : SONET

La STS-1 actuelle, qui est la trame de base de cette hiérarchie, se compose de 9 rangées de 90 colonnes au débit de 51.84 Mbits/s ; sa charge utile (9 rangées x 87 colonnes = 783 octets), les données de services sont disposées dans un en-tête appelé TOH (Transport Over Head) constitué des 3 premiers octets de chacune des lignes (fig 1.23).

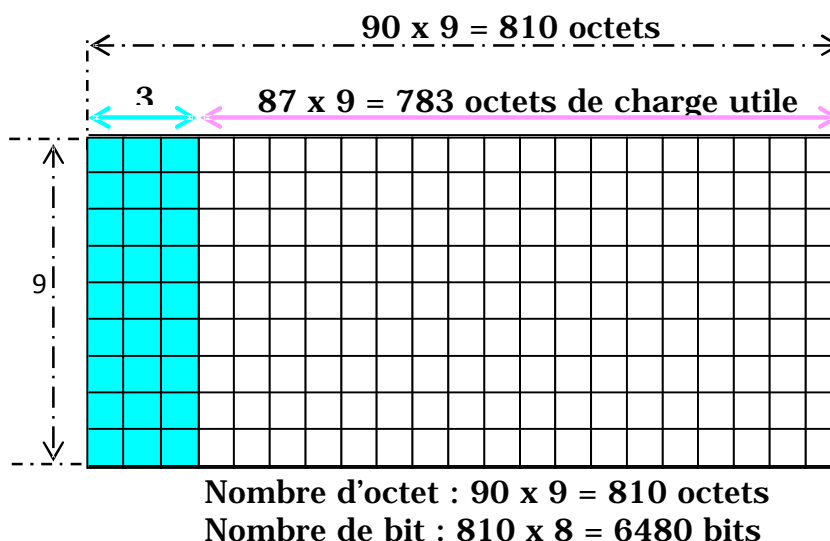


Fig 1.23 Structure de la trame STS-1

1.5.4. Hiérarchie numérique synchrone (SDH)

La SDH (synchronous Digital Hierarchy) est une nouvelle hiérarchie à haut débit, normalisée au niveau international. Elle permet d'unifier le réseau mondial de télécommunications, en étant compatible avec les réseaux existants : hiérarchie numérique plésiochrone : européenne, américaine et japonaise.

Les débits de transmission sont déterminés à partir d'un module de transport, ou trame de base, appelé STM-1 qui est composé de 2340 octets transmis en 125 μ s. Soit un débit de 149.76 Mbit/s.

1.5.5. La WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Utilisée dans les systèmes de transmission sur FO, il s'agit d'une évolution récente bénéficiant des progrès de l'amplification optique et qui a tendance à aller vers un réseau de transport « tout optique » : dans une même fibre (monomode), plusieurs porteuses avec des longueurs d'onde différentes véhiculent des flux de bits distincts (fig 1.24).

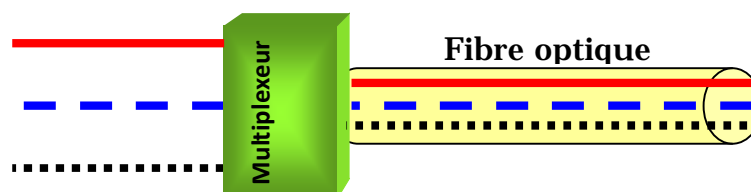


Fig 1.24 multiplexage sur fibre

Le principe du multiplexage en longueur d'onde est donc d'injecter simultanément dans une fibre optique plusieurs trains de signaux numériques sur des longueurs d'ondes distinctes. La fibre optique se prête

d'autant plus à cela que sa bande passante est très élevée (de l'ordre de 25 THz).

La norme ITU-T G.692 définit la plage de longueurs d'ondes dans la fenêtre de transmission de 1530 à 1565 nm et un espacement normalisé entre deux longueurs d'ondes de 1,6 ou 0,8 nm. Lorsque cet espacement est égal ou inférieur à 0,8 nm ou lorsque plus de 16 canaux sont utilisés, on parle alors de DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing).

Aujourd'hui, il est possible d'atteindre des débits pouvant aller de 10 à 200 Gbit/s. En effet, il existe des systèmes proposant de 4 à 80 canaux optiques à 2,5 Gbit/s par canal.

Un système à 16 canaux de 2,5 Gbit/s (soit 40 Gbit/s) permet l'acheminement de 500 000 conversations téléphoniques simultanément sur une seule paire de fibre optique. Des recherches sont actuellement en cours pour accroître le débit offert sur chaque canal. On pourrait rapidement atteindre 10 Gbit/s.

A chaque multiplexage ou démultiplexage de longueur d'onde, il y a des pertes appelées pertes d'insertion. Pour compenser ces pertes et également réduire le bruit, on utilise un amplificateur à fibre dopée erbium, EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) (fig 1.25).

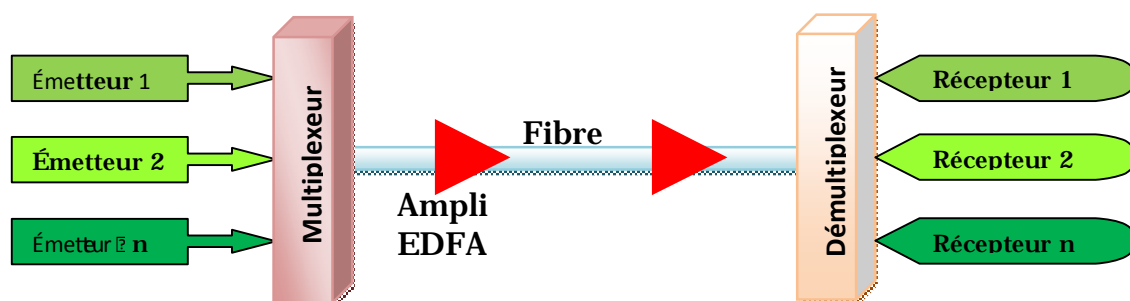


Fig 1.25 Principe d'une liaison WDM/DWDM

1.6. Conclusion

Les réseaux optiques représentent une part non négligeable des transmissions très haut-débits. Ils ont été choisis pour réaliser les transmissions pour des liaisons longues distances mais aussi pour les réseaux MAN. En effet, la fibre optique est le meilleur support parmi toutes les solutions existantes pour réaliser des réseaux hauts débits et supporter les montées en capacités exigées par les clients de ces réseaux.

Aujourd'hui utilisés dans de nombreux réseaux MAN ou WAN, SONET, SDH et WDM sont des technologies qui ont révolutionné ce type de réseaux.

CHAPITRE 2

**ÉTUDE DE LA HIÉRARCHIE NUMÉRIQUE
SYNCHRONE**

2.1. Introduction

Du fait de la croissance soutenue du marché des télécommunications, 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.

Avant les années 90, le réseau de transmission numérique était basé sur l'utilisation de la hiérarchie numérique dite "plésiochrone". Cette technique s'est montrée, au fil des années, quelque peu limitée. En effet, l'évolution des débits des différents services, les besoins en flexibilité du réseau de transmission, la nécessité d'améliorer les fonctions d'exploitation-maintenance, l'augmentation continue de la capacité de transmission sur fibre optique et le besoin d'interconnexion entre opérateurs à des débits élevés et normalisés, tous ces éléments ont montré les limitations de la hiérarchie actuelle et ont conduit à la normalisation de la hiérarchie numérique synchrone (SDH : synchronous digital hierarchy). Celle-ci, fondée sur les concepts de Sonet (synchronous optical network), proposés par Bellcore en 1985, constitue une évolution importante des réseaux de transmission. Les travaux de normalisation ont été lancés en 1986 au CCITT. En 1988, un premier accord permettait de définir les grands principes de base de la SDH. Les travaux n'ont pas cessé depuis et se poursuivent aujourd'hui en particulier sur les architectures du réseau, sa modélisation et sa gestion.

2.2. Présentation de SDH

2.2.1. Avantage de la technologie SDH

Par rapport à la hiérarchie PDH, les opérateurs espèrent les avantages suivants :

- Ø Des Débits de Transmission élevés : La technologie SDH utilise des liens de communications optiques et offre des débits allant jusqu'à 10 Gbit/s sur une seule fibre, ce qui en fait une technologie particulièrement adaptée à la construction des réseaux dorsaux (Backbone). Les développements récents des technologies de multiplexage de longueurs d'ondes WDM (Wavelength Division Multiplexing) permettent d'espérer très prochainement de disposer de réseaux SDH offrant des débits de 40 Gbit/s, sur une seule fibre.
- Ø Opérations d'Insertion/Extraction simplifiées : L'utilisation d'une technique de pointeur permet de réaliser ces opérations sans avoir à démultiplexer puis re-multiplexer la trame de transmission, comme c'était le cas dans les réseaux PDH.
- Ø Disponibilité et Adaptation Dynamique des Capacités : Les opérateurs peuvent utiliser des composants réseaux standardisés qui peuvent être contrôlés et commandés de manière logicielle à distance (à partir d'un point central) en utilisant un système de gestion de réseaux appelé TMN (Telecommunication Network Management).

- ∅ **Fiabilité** : Les réseaux SDH incorporent plusieurs mécanismes permettant de faire face à la défaillance d'un lien ou d'un composant du réseau (SNCP, MS-SPRING).
- ∅ **Interconnexion** : Les interfaces des réseaux SDH sont normalisées internationalement, ce qui garantit l'interopérabilité (avec les réseaux SONET par exemple) (tableau 2.1) et diminue donc les coûts.

SDH	SONET		Débit Mbit/s
	Désignation électrique	Désignation optique	
VC - 3	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	2488,37
STM-64	STS-192	OC-192	9953,28
STM-128	STS-384	OC-384	19906,56
STM-256	STS-768	OC-768	39813,12

Tableau 2.1 Débit de transport de la SDH

2.2.2. Définition des éléments de la SDH

2.2.2.1. Le conteneur de niveau n (C-n)

Les signaux à transporter proviennent de liaisons qui peuvent être synchrones ou asynchrones. Pour faciliter leur transport, on les sectionne en petit blocs appelés conteneurs C-n (Le " n " dépend du débit entrant) (fig 2.1). Un conteneur contient un paquet de données utiles (payload) arrivés au rythme du débit de l'affluent pendant 125 μ s plus un certain nombre d'octets de bourrage dont le rôle est d'adapter le débit incident à la structure de la trame.

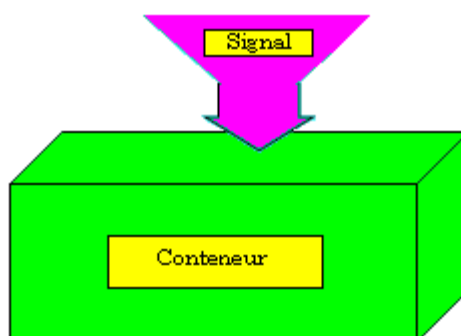


Fig 2.1 Le conteneur

2.2.2.2. Le conteneur virtuel (VC-n)

Les conteneurs virtuels VC-n comportent les conteneurs de réception C-n (la charge utile) auxquels sont ajoutés plusieurs octets (POH) afin de réaliser les adaptations, ou mappages, des débits d'entrées d'affluents sur le rythme de l'équipement de multiplexage (fig 2.2).

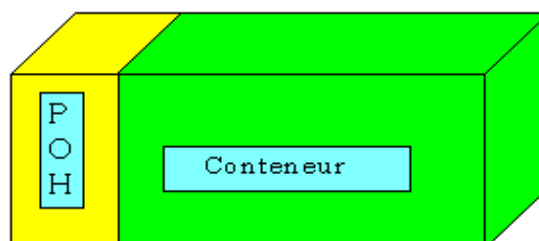


Fig 2.2 Le conteneur virtuel

Il existe deux types de conteneurs virtuels :

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

Le tableau 2.2 rappelle les valeurs des conteneurs [ITU-T G.709].

Conteneurs	Ordre	Type	Nombres d'octets	Débits maximal admissibles Mbit/s	Débits d'affluents Mbit/s
Conteneurs C-n	Low Order	C-11	25	1.6	1.544
		C-12	34	2.176	2.048
		C-2	106	6.784	6.312
		C-3	756	48.348	34.386
	High Order	C-3	756	48.348	44.736
		C-4	2340	149.760	139.264
Conteneurs virtuels VC-n	Low Order	VC-11	26	1.664	1.544
		VC-12	35	2,24	2.048
		VC-2	107	6.848	6.312
		VC-3	765	48.96	34.386
	High Order	VC-3	765	48.96	44.736
		VC-4	2349	150.336	139.264

Tableau 2.2 Types de conteneurs

2.2.2.3. L'unité d'affluent (TU-n)

On appelle unité d'affluent une structure d'informations qui assure l'adaptation entre les couches de conduits de niveau inférieur et supérieur. Elle se compose d'une capacité utile d'information (le conteneur virtuel de niveau inférieur) et d'un pointeur d'unité d'affluent indiquant le décalage entre le début de la trame de la capacité utile et le début de la trame du conteneur virtuel de niveau supérieur (fig 2.3).

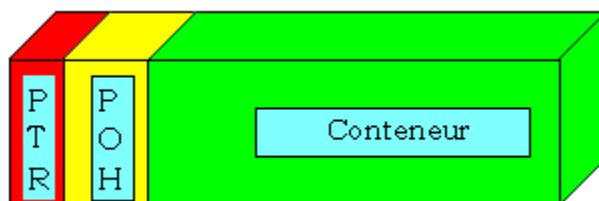


Fig 2.3 L'unité d'affluent

2.2.2.4. Le groupe d'unités d'affluent (TUG-n)

Les TUs de différents affluents sont multiplexées (groupées par 3 ou 4) pour former des blocs plus grand appelé des Tributary Unit Group (TUG) (fig2.4). Le multiplexage se fait toujours octet par octet. Il n'y a pas de surdébit propre à une TUG. On trouve :

- Le TUG-2 regroupant 3 TU-12 ou 1 TU-2.
- Le TUG-3 regroupant 7 TUG-2 ou 1 TU-3.

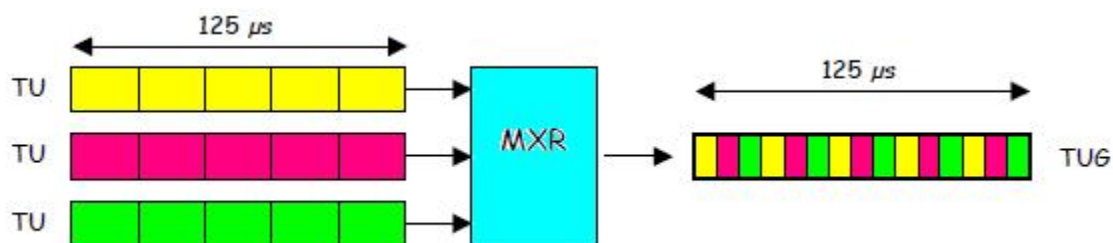


Fig 2.4 Constitution d'une TUG à partir de 3 TUs

2.2.2.5. L'unité administrative (AU-n)

Elle assure l'adaptation entre la couche du conduit de niveau supérieur et la couche de la section de multiplexage, elle comprend une capacité utile d'informations qui est celle du conteneur virtuel correspondant et un pointeur d'unité administrative. Deux unités administratives sont définies :

- L'unité AU-4 qui se compose d'un CV-4 et d'un PTR.
- L'unité AU-3 qui se compose d'un CV-3 et d'un PTR.

2.2.2.6. Le groupe d'unités administratives (GUA-n)

On appelle "groupe d'unités administratives" une ou plusieurs unités administrative occupant des positions fixes et définies dans la capacité d'une STM. Un groupe AUG se compose soit :

- Trois AU-3.
- Une AU-4

2.2.3. Le multiplexage SDH

La SDH comprend deux niveaux de multiplexage qui correspondent à la représentation des réseaux en deux couches (basse : LO et haute : HO), elle emploie deux types de conteneurs virtuels (fig3.5) :

- des LVC (Low Virtuel Container) : conteneurs virtuels d'ordre inférieur ou bas, identifiés aussi par VC-LO ou LO-VC.
- des HVC (High Virtuel Container) : conteneurs virtuels d'ordre supérieur ou haut, identifiés aussi par VC-HO ou HO-VC.

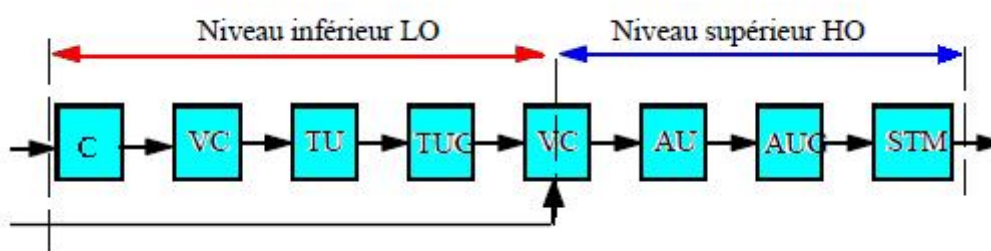


Fig 2.5 Les niveaux de multiplexage SDH

La figure 2.6 illustre l'organisation générale des éléments et des traitements composants la SDH [G.707], elle est complétée par le tableau 2.2 qui donne la composition des constituants élaborés et manipulés au fur et à mesure des traitements.

DEBIT	C	VC	TU	TUG-2	TUG-3	AU	AUG
1.544	C-11 25	VC-11 26	TU-11 27	4 x TU-11 108	7xTUG-2 774	-	-
2.048	C-12 34	VC-12 35	TU-12 36	3 x TU-12 108	-	-	-
6.312	C-2 106	VC-2 107	TU-2 108	1 x TU-2 108	-	-	-
34.368 44.736	C-3 756	VC-3 765	TU-3 774	-	1 x TU-3 774	AU-3 765	3xAU-3
139.264	C-4 2340	VC-4 2349	-	-	-	AU-4 2349	1xAU-4

Tableau 2.3 Les éléments structurels de la SDH

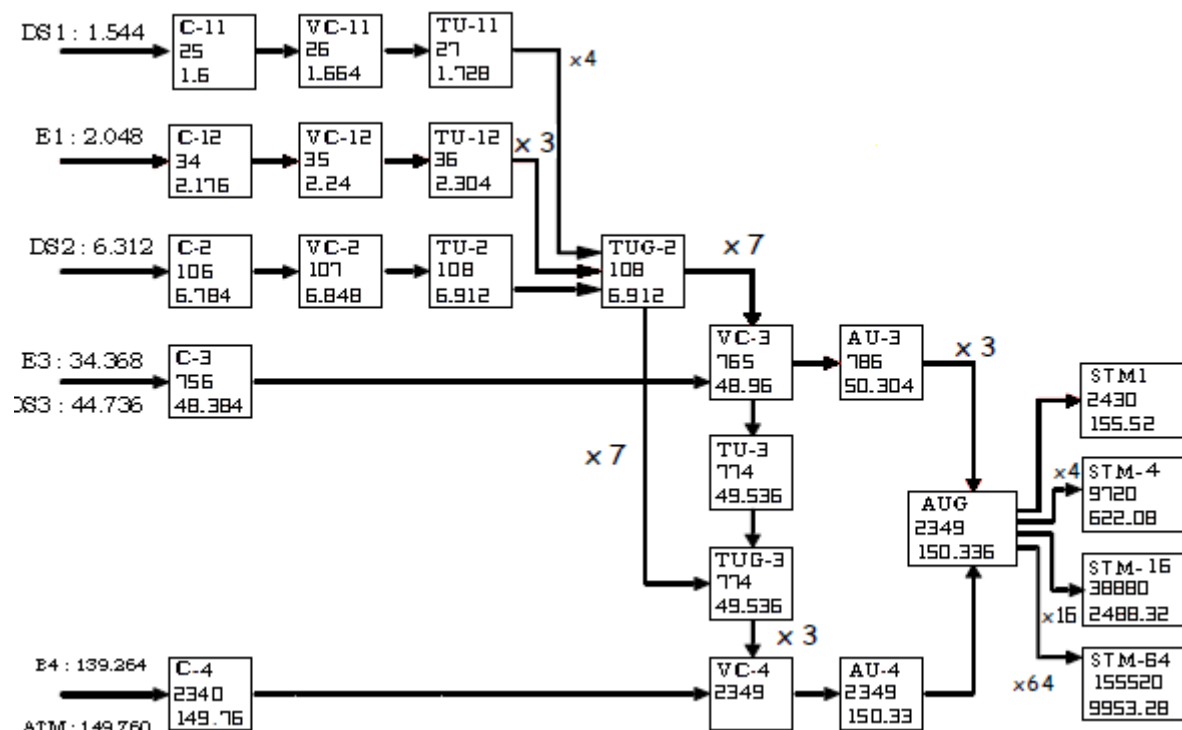


Fig 2.6 Multiplexage SDH

2.2.4. Structure de la trame de base de la SDH

La trame de base, appelée STM-1 (Synchronous Transport Module 1) est structurée en octets et possède les caractéristiques suivantes (fig 2.7) :

- *taille* : 2430 octets organisés en 9 rangées et 270 colonnes, les 9 premiers octets constituent la zone de supervision de SDH qui contient des informations sur la gestion du réseau et les 261 octets suivants la zone d'informations à transmettre.
- *durée* : 125 μ s (synchronisation sur le 8 kHz).
- *débit de base de* : 9rangées x 270 colonnes x 64 Kbits/s = 155,52 Mbits/s.

La trame STM-1 est constituée de trois zones réservées aux informations suivantes :

- ✓ *la charge utile ou payload* : elle correspond à la partie transportant l'information. Son débit est de 9 x 261 x 64 Kbit/s = 150.336 Mbit/s.
- ✓ *le surdébit de section SOH (Section Over Head)* : il transporte les données de service de la trame.
- ✓ *le pointeur PTR (pointer)* : il est réservé au dispositif de suivi de données dans la trame, cette zone est utilisée par le groupe d'unités.

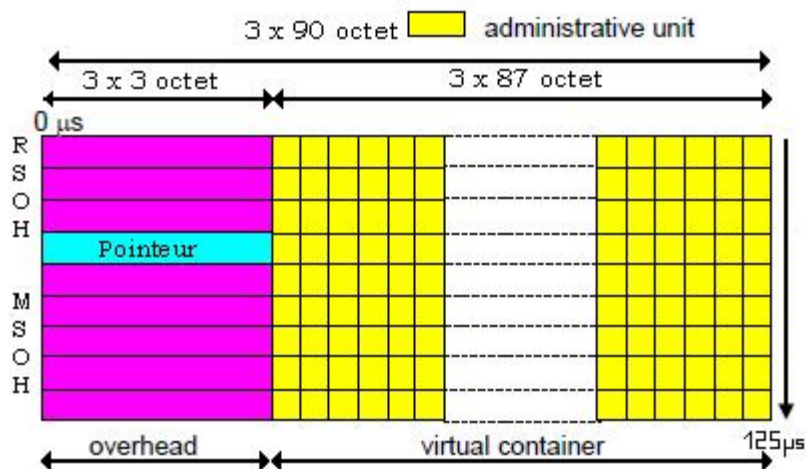


Fig 2.7 Structure de la trame STM-1

2.2.4.1. Le surdébit de section (SOH)

Le surdébit de section (SOH) se divise en deux parties (fig2.8) :

- ∅ le RSOH, Regeneration Section Overhead : réserve à la régénération.
- ∅ le MSOH, Multiplex Section Overhead : réservé au multiplexage.

R S O H	A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
	B1	d	d	E1	d		F1	X	X
	D1	d	d	D2	d		D3		
AU - PTR									
M S O H	B2	B2	B2	K1			K2		
	D4			D5			D6		
	D7			D8			D9		
	D10			D11			D12		
	S1						M1	E2	X

9 Colonnes

9 r a n g é e s

Fig 2.8 Les octets du SOH

2.2.4.2. Signification des octets

1. Du RSOH

Octets A1 et A2 : le début de chaque trame est marqué par 3 x a1 suivi de 3 x a2. Ces octets sont des octets de verrouillage (synchronisation). Ils ont la configuration suivante :

- A1 = 1111 0110
- A2 = 0010 1000

Octet J0 : appelé trace de section de régénération, il transmet un identificateur de point d'accès de section de régénération en l'occurrence l'adresse d'un émetteur (point d'accès au chemin).

Octet B1 : il assure le contrôle de qualité en bits de parité dit BIP-8 (Bit Interleaved Parity 8) de la section de régénération.

Octet E1 : il peut constituer un canal de service à débit de 64 Kbit/s pour des communications vocales au niveau des régénérateurs (utilisable à des fins de maintenance).

Octet F1 : il est réservé aux besoins de l'utilisateur pour des opérations de maintenance particulières ou transmettre des alarmes (canal de 64 Kbit/s).

Octets D1 à D3 : ils définissent un canal à 192 Kbit/s en tant que canal DCC (canal de communication de données : Data Communication Channel) de section de régénération ; ce canal transporte les informations de gestion du réseau SDH [G.784].

Octets d : octets dépendant du support de transmission.

Octets X : ils sont réservés pour un usage national.

2. Du MSOH

Octet B2 : équivalent de l'octet B1, mais avec un code de parité 24 (BIP-24), (3 x 8) à entrelacement de bits.

Octets K1 et K2 : ils sont affectés à la commande de protection (demandes de secours, adresse, indication d'un canal de secours).

Octet D4 à D12 : ils réalisent un canal à 567 Kbit/s en tant que canal DCC de section de multiplexage ; ce canal permet de transporter les messages de gestion du réseau [G.784].

Octet S1 : ses bits 5 à 8 sont alloués pour des messages de statut de synchronisation.

Octet M1 : il est une indication MS-REI (Indication d'erreur distante de section multiplex, Multiplex Section Remote Error Indication).

Octet E2 : il est utilisé comme canal de service à 64 Kbit/s pour des communications vocales au niveau des extrémités multiplex.

2.2.4.3. Le pointeur

L'intérêt du multiplexage synchrone est de pouvoir accéder directement aux conteneurs qui composent un multiplex. Cependant, dans un nœud du réseau, les différents signaux affluents peuvent arriver avec une phase quelconque (temps de propagation différents et variables dans le temps, écarts de fréquence entre horloges). Pour préserver la visibilité et l'intégrité des affluents en présence de ces variations de phase, la SDH utilise des pointeurs et la technique de justification positive-négative-nulle. L'information utile peut ainsi "flotter" dans l'espace qui lui est alloué à l'intérieur de la trame, sa position étant repérée à chaque instant par le pointeur.

2.2.4.3.1 Signification des octets de AU-4 PTR

Il est placé dans les 9 premiers octets de la 4^{ème} rangée du SOH (fig 2.8). Les octets qui le composent sont représentés dans la figure 2.9.



Fig 2.9 structure du pointeur AU-4

Ces octets ont la configuration suivante :

- Y = 1001SS11 (les bits S ne sont pas spécifiés)
- X = 11111111
- H3 : octets réservés à la justification négative.
- H1 et H2 : ces octets sont dédiés à l'emplacement de la valeur du pointeur (fig 2.10).

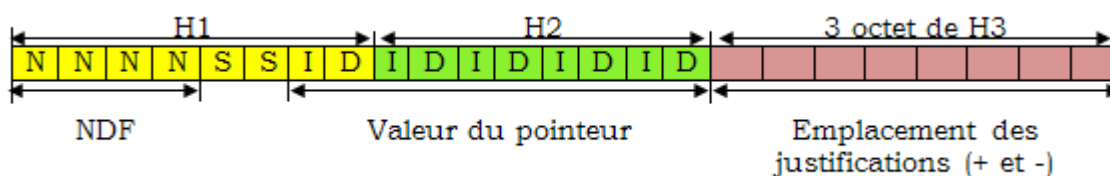


Fig 2.10 Configuration des bits H1 et H2

La signification des différents bits est :

- I : incrémentation.
- D : décrémentation.
- Les bits N : ils sont appelés NDF (New Data Flag) : indicateur de nouvelles données. En fonctionnement normal le NDF est à 0101.
- SS : non spécifiée.
- Les 5 bits D sont inversés (par rapport aux 5 bits précédents) s'il y a justification négative.
- Les 5 bits I sont inversés (par rapport aux 5 bits précédents) s'il y a justification positive.
- Les valeurs du pointeur peuvent aller de 0 à 782.

2.2.4.3.2. Justification du pointeur

2.2.4.3.2.1. Justification nulle

Le débit d'affluent est égal au débit nominal.

2.2.4.3.2.2. Justification positive

Si le débit des affluents est inférieur à celui de la trame (débit nominal), on a recours au bourrage. La justification est donc positive. Trois octets désignés (000), placés après le 3^{ème} H3. Ces trois octets sont prélevés dans la charge utile de la trame.

2.2.4.3.2.3. Justification négative

Par contre, si le débit des affluents est supérieur à celui de la trame, on a recours à la justification négative. Les octets H3 entrent en jeu et absorbent le surplus d'information.

2.2.4.4. Le surdébit de conduit (POH)

Les POH (Path Overhead) sont utilisés pour la gestion des différents conduits transportés. Ils contiennent des indications liées à la surveillance du conduit, à la transmission d'alarmes distantes et de signaux de maintenance et des indications de structure de multiplexage.

Le surdébit de conduit (POH) se devise en deux ordres :

- Surdébit de conduit de bas ordre (LOP : Low Order Path).
- Surdébit de conduit de haut ordre (HOP : High Order Path).

2.2.4.4.1. Signification des octets de HOP

Le HOP est constitué des octets suivant (fig2.11) :

Octet J1 : il permet la vérification de la validité du chemin emprunté par le conteneur virtuel dans le réseau. Il indique au récepteur l'adresse du point émetteur.

Octet B3 : surveillance de la qualité du conduit.

Octet C2 : cet octet est appelé « étiquette de signal » ; il indique la composition du conteneur virtuel correspondant.

Octet G1 : il indique l'état du conduit (Path Status).

Octets F2 et F3 : ces octets sont alloués pour des communications de l'utilisateur entre des éléments de chemin.

Octet H4 : il indique la position de la charge utile dans une multitrame.

Octet K3 : il est alloué pour la signalisation APS.

Octet N1 : il est alloué à la gestion en mode tandem (cascade de connexions de sous-réseaux).

J1
B3
C2
G1
F2
H4
F3
K3
N1

Fig 2.11 Les octets du HOP

2.2.5. Exemple de formation de la trame STM-1

2.2.5.1. A partir d'un affluent de 140 Mbit/s :

La formation de la trame STM-1 à partir d'un affluent PDH de 139.264 Mbit/s (140 Mbit/s) se fait en différentes étapes suivant la figure 2.12.

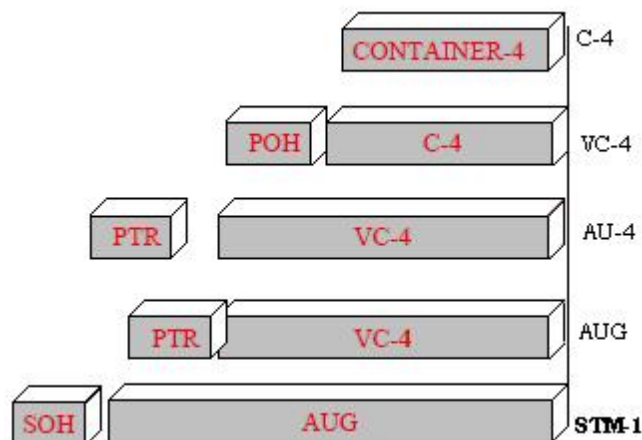


Fig 2.12 Formation de la trame STM-1 à partir d'affluents E4

2.2.5.1.1. Formation de C-4

La première étape est l'élaboration du conteneur C-4. Ce conteneur, comme on l'a déjà vu, comporte 2340 octet (260 colonnes x 9 rangées) soit un débit de 149.760 Mbit/s. Ces octets sont représentés sous forme de 20 blocs de 13 octets pour chaque ligne (fig2.13).

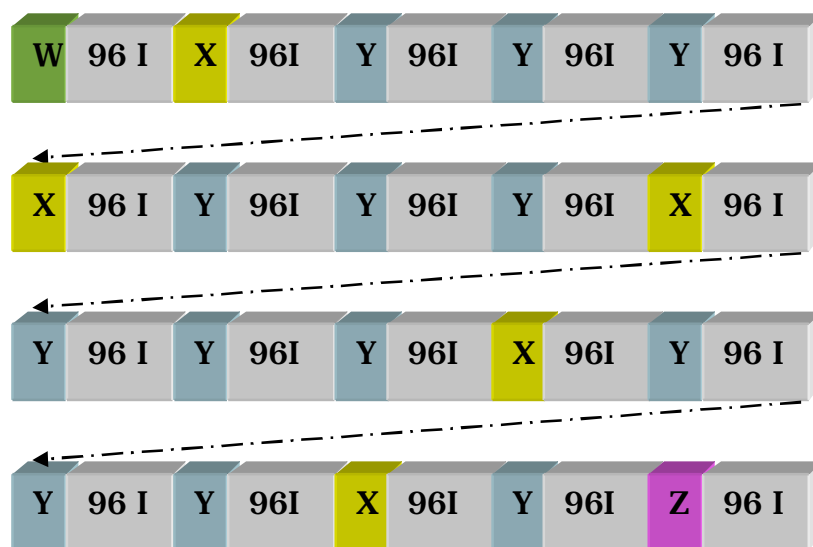


Fig 2.13 Constitution d'une ligne du C-4

La signification des octets constituant une ligne du C-4 :

- W = IIIIIII avec I : bit d'information.
- Y = RRRRRRR avec R : bit de remplissage fixe.
- X = CRRRRROO avec C : bit d'indication de justification ; O : bit du surdébit.
- Z = IIIIISR avec S : bit de justification.

Dans un bloc, il y a 13 octets répartis comme suit : 1 octet pour les bits d'indications tels que le bit de remplissage, de justification ou de surdébit, et 12 octets pour les bits d'informations de l'affluent. Ceci permet de voir qu'il y a en fait 17406 bits d'information dans le conteneur :

- ▶ $96 \times 20 \times 9 = 17280$ bits.
- ▶ 8 bits de W + 6 bits de Z = $14 \times 9 = 126$ bits.
- ▶ Total des bits : $17280 + 126 = 17406$ bits.

Soit un débit de 139,248 Mbit/s ($17406 \text{ bits} \times 8 \text{ KHz}$). Comme le débit de l'affluent est supérieur au débit d'information du C4, c'est une justification de type négative de 72 Kbit/s ($9 \text{ bits de S} \times 8 \text{ KHz}$).

Cette justification se fait de la manière suivante : les 5 octets X de chaque ligne contiennent 1 bit C, donc on a $5 \times C$ par ligne. La commande de justification est assurée par ces 5 bits ; si :

- § CCCCC = 00000 alors S est un bit de données, donc un débit de 139.320 Mbit/s ($[17406 \text{ bits} + 9 \text{ bit de S}] \times 8 \text{ KHz}$).
- § CCCCC = 11111 alors S est sans signification.

Au final, C-4 aura un débit de 139.320 Mbit/s et peut donc transporter l'affluent E4 (139.264 Mbit/s).

2.2.5.1.2. Formation de VC-4

Une fois le C-4 élaboré, on lui rajoute un surdébit de conduit (POH) pour former à la fin un VC-4. On obtient ainsi 1 octet de plus pour chaque ligne, soit 9 octets de plus par rapport à C-4 (donc 2349 octets) (fig2.14).

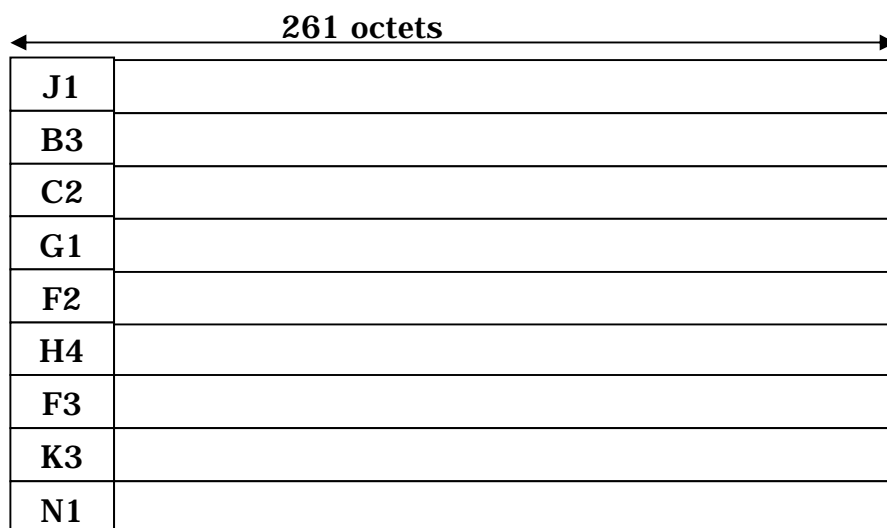


Fig 2.14 Le conteneur virtuel VC-4

Les octets du POH sont utilisés pour déterminer différentes informations sur le conteneur tel que la trace du conduit (J1) qui permet une identification du point d'accès pour vérifier la continuité de la chaîne de connexion depuis l'émetteur, la surveillance des erreurs par contrôle de bit du VC4 (B3), étiquette du signal de conduit (C2) qui permet de connaître la composition du conteneur tel que le tableau suivant, l'état du conduit (G1) qui sert à renvoyer les informations de défauts de l'extrémité distante, le contrôle de qualité (F3), la voie de service (F2) pour les besoins de communication de l'utilisateur sur le VC-4.

2.2.5.1.3. Formation de L'unité Administrative AU-4

L'unité Administrative AU-4 est constituée de l'ensemble VC-4 et d'un pointeur associé, placé dans la trame de base STM-1. Le VC-4 ne coïncide pas toujours avec la capacité utile de la trame STM et se trouve en général à cheval sur 2 trames. Le Pointeur indique le nombre d'octet entre la fin de son dernier octet et le premier octet POH (J1) du VC-4. Le pointeur peut aussi indiquer le début du VC-4 modifié par une justification dans le cas où l'horloge du STM est différente de l'horloge du VC-4 (débits différents) car le ralentissement ou l'accélération du débit du VC-4 se fait en reculant ou en avançant le début du VC-4. On dit que le VC « flotte » dans la trame.

2.2.5.1.4. Formation de l'AUG

Le groupe d'unités administratives est même que l'AU-4.

2.2.5.1.5. Formation de la trame STM-1

La trame STM-1 trouve sa constitution complète lorsqu'on ajoute au groupe d'unités administratives un surdébit de section (SOH).

2.2.5.2. Formation de la trame STM-n

Une trame STM-n est composée d'une capacité utile obtenue par multiplexage de n AUG, et d'un SOH. La trame n'est donc pas le résultat d'un multiplexage de n STM-1 (fig2.15).

La capacité utile d'un STM-n est obtenue par multiplexage de n VC-4 qui composent les n AUG. Le multiplexage est réalisé en effectuant un entrelacement des octets de n VC-4. La capacité utile est donc composée de n fois 261 colonnes afin de pouvoir loger les n VC-4.

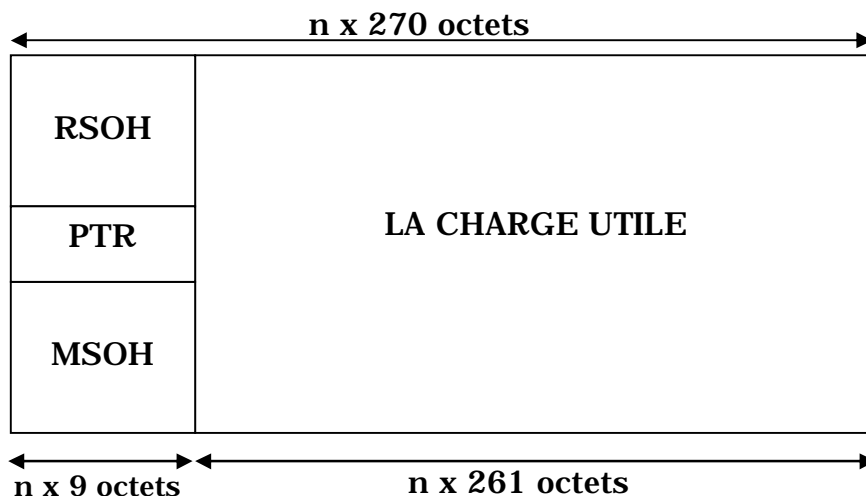


Fig 2.15 Structure de la trame STM-n

2.3. Étude d'un réseau SDH

La hiérarchie numérique synchrone est une technologie de la couche physique (niveau 1 et 2 du model OSI) qui est elle-même décomposée en sous-couches.

2.3.1. Les équipements du réseau SDH

Un réseau SDH est constitué d'éléments réseau NE (Network Element) et chaque élément est doté d'une interface optique NNI (Node Network Interface) où transitent les échanges entre les nœuds et l'interface UNI (User Network Interface) qui assure les échanges entre un utilisateur et un réseau. Pour pouvoir transmettre différents affluents (PDH, SONET, ATM), les réseaux SDH sont équipés des éléments réseau suivants :

2.3.1.1. Les multiplexeurs terminaux (TM)

Le multiplexeur terminal (TM Terminal multiplexer) (fig2.16) permet le multiplexage de signaux affluents plésiochrones ou synchrones pour former des débits STM-n.

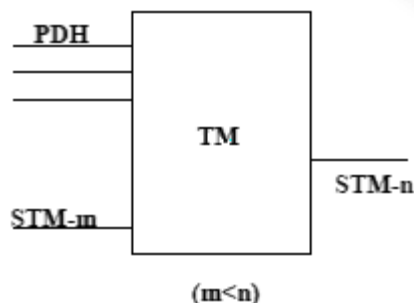


Fig 2.16 Le multiplexeur terminal

2.3.1.2 Les multiplexeurs d'insertion/extraction (ADM)

Les multiplexeurs insertion - extraction (MIE, ADM Add-Drop Multiplexeur) (fig2.17) sont utilisés pour réaliser les fonctions de transmission suivantes :

- transfert du signal numérique synchrone de ligne entre ses accès " Ouest " et " Est " ;
- dérivation : insertion/extraction de signaux numériques plésiochrones et/ou synchrones dans le signal numérique synchrone présent à ses accès " Ouest " et/ou " Est.

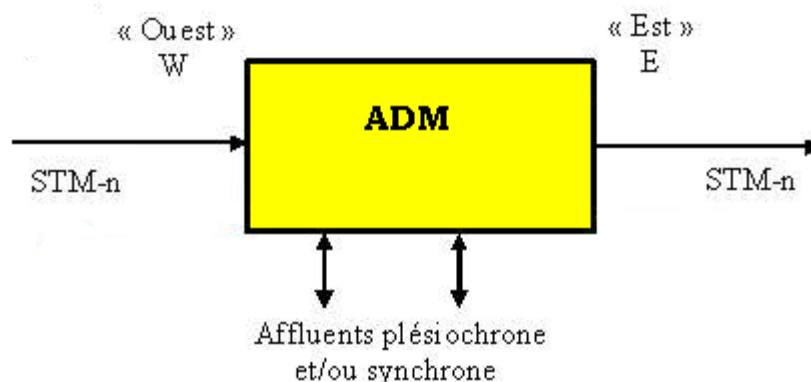


Fig 2.15 Le multiplexeur insertion/extraction

Ü l'élément MADM (Multi ADM) est un multiplexeur d'insertion/extraction avec capacité de brassage.

2.3.1.3. Les régénérateurs (REG)

Le régénérateur est par fois 3R, en anglais : Re-time, Re-Shape, Re-Amplify ; ce mot représente bien les trois opérations que doit effectuer ce dispositif qui sont : une remise en forme temporelle, une remise en forme des amplitudes des signaux et enfin une réémission.

2.3.1.4. Les brasseurs (DXC)

Ce sont les éléments les plus complexes et les plus flexibles. Ils sont dotés de plusieurs ports supportant différents débits. Un signal entrant par n'importe quel port peut être connecté à un signal d'un autre port, d'où la notion de brassage de signaux (fig2.16).

Les brasseurs permettent d'éviter de nombreuses opérations de câblage puisqu'une fois que deux sous réseau sont reliés par un brasseur, il est possible d'aiguiller de l'un à l'autre des liaisons sans opération manuelles, mais seulement avec des commandes depuis les gestionnaires de réseau.

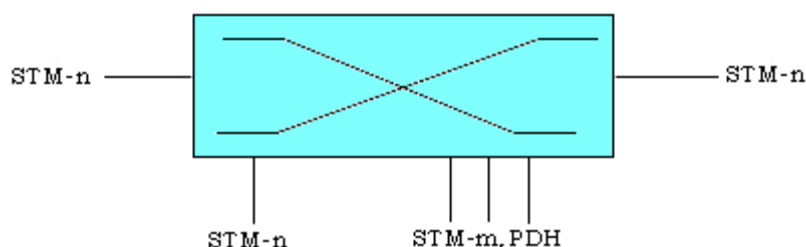


Fig 2.16 Le brasseur

2.3.1.5. Les interfaces optiques

Selon la recommandation G.957, les classes d'applications sont au nombre de trois :

- ✓ la classe intra-centre (Intrastation) correspondant à des systèmes de moins de 2 km de portée ;
- ✓ la classe inter-centre à courte portée couvrant des systèmes de 15 Km de portée ;
- ✓ la classe inter-centre à longue portée avec deux niveaux de portées, le 40 km dans la fenêtre 1 310 nm et le 80 km dans la fenêtre 1 550 nm.

Ces différentes applications correspondent à des systèmes, lesquels dépendent directement des débits utilisés. C'est pourquoi, pour compléter cette classification il faudra intégrer les niveaux des débits hiérarchiques SDH normalisés (STM-4, STM-16).

Les conventions retenues pour désigner les classes d'applications sont les suivantes :

- I pour intra-centre (Intrastation).
- S pour courte portée (Short-haul).
- L pour longue portée (Long-haul).

Les différentes interfaces optiques répondent à la syntaxe suivante :

Ü Classe d'application-Niveau hiérarchique STM-chiffre.

Le codage de chiffre peut prendre les valeurs suivant :

- Pour la longueur d'onde 1310 nm, utilisant une fibre G.652, il prendra la valeur « 1 ».
- Pour la longueur d'onde 1550 nm, utilisant une fibre G.652 ou une fibre G.654, il prendra la valeur « 2 ».
- Pour la longueur d'onde 1355 nm, utilisant une fibre G.653, il prendra la valeur « 3 ».

Le tableau 2.4 résume les caractéristiques de ces trois classes et la classification des interfaces optiques.

Caractéristiques		Intra-centre	Inter-centre courte portée		Inter-centre longue portée		
Portée (km)		<2	environ15		environ 40	Environ 80	
Longueur d'onde (nm)		1310	1310	1550	1310	1550	
Type de fibre optique monomode		G652	G652	G652	G652	G652 G654	G653
Niveau	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.2	L-1.2	L-1.3
STM-N	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.2	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3

Tableau 2.4 Calcification des interfaces optiques (G.957)

2.3.2. Les topologies du réseau SDH

L'architecture d'un réseau SDH est déterminée à partir d'un certain nombre de considérations fondamentales telles que :

- ▶ Respect du débit et du synchronisme
- ▶ Assurer le transport dans un temps minimum
- ▶ Capacité du réseau à palier automatiquement à ses défaillances au moins partiellement pour assurer le transport des données vitales

L'architecture en anneau est celle qui répond le mieux à ces considérations, cependant, on constate dans la pratique qu'un mélange de topologies, anneau, arborescent et maillé est parfois utilisé.

2.3.2.1. Réseau point à point

L'architecture point à point (point-to-point) est la configuration la plus simple d'un réseau qui nécessite deux multiplexeurs terminaux (TM) connectés par une fibre (avec ou sans régénérateur) dans le nœud (fig2.17).

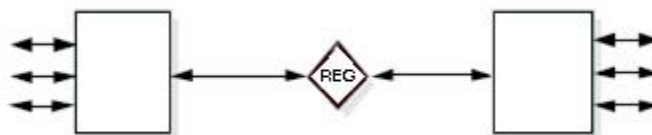


Fig 2.17 Topologie en point à point

2.3.2.2. Réseau point à multipoint

L'architecture point à multipoint (point-to-multipoint) inclus des multiplexeurs insertion/extraction entre ces nœuds. Ces ADM sont les seules éléments désignés pour cette tâche afin de faciliter l'insertion et l'extraction des débits à n'importe quel point du réseau (fig2.18).

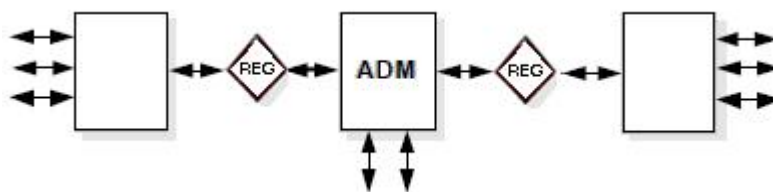


Fig 2.18 Topologie en point à multipoint

2.3.2.3. Réseau en anneau

La structure en anneau (ring structure) a pour principal but de fiabiliser les transmissions en palliant les dégradations de qualité de transport quelque que soit sa provenance.

Un anneau est composé de plusieurs arcs (au moins deux s'il y a deux nœuds) qui chacun d'eux, relie deux nœuds adjacents.

Plusieurs types d'anneaux sont envisageables :

2.3.2.3.1. Anneau monofibre

Cet anneau est dit aussi unidirectionnel (fig2.19), il ne permet pas la fonction de protection.

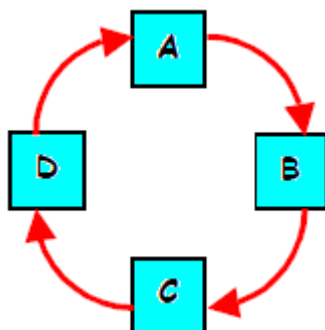


Fig 2.19 Anneau unidirectionnel

2.3.2.3.2. Anneau à plusieurs fibres

L'architecture prévoit 2 à 4 fibres. L'emploi de deux fibres deux sens de transmissions sont définis dans chaque arc afin d'envisager l'usage de configuration de protection. Lorsque les flux normaux sont transmis dans les deux sens, l'anneau est bidirectionnel (fig2.20).

La topologie en anneau est la plus utilisée en technologie SDH car elle permet d'offrir une technique de protection en cas de défaillance.

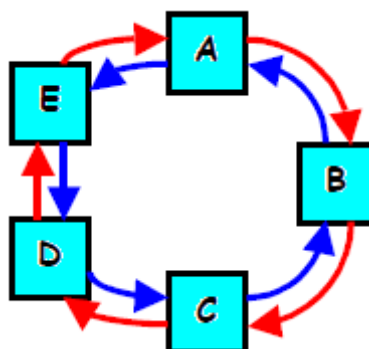


Fig 2.20 Anneau bidirectionnel

2.3.2.4. Réseau maillé

Elle est réalisée par des liaisons multiples entre chaque nœud ou point de concentration ou de transfert du réseau (fig2.21).

Sa gestion est assez difficile en cas de défaillance, elle dépend constamment du nombre de nœuds et de liaisons en service ; par contre, elle présente certainement les meilleures conditions de transport et de fiabilité pour un peu qu'elle soit bien administrée.

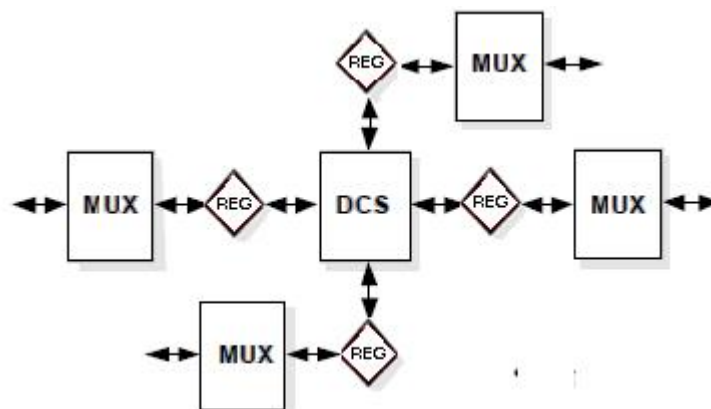


Fig 2.21 Le réseau maillé

2.3.3. Protection du réseau SDH

Pour faire face aux défaillances techniques, la SDH réserve des circuits physiques ou logiques qui seront utilisés en cas de difficultés de transmission comme la rupture d'une fibre ou la défaillance d'un équipement de réseau. En cas de défaillance, la commutation des circuits sur le chemin de secours se fait en moins de 50 ms [G.841].

2.3.3.1. Protection de la section de multiplexage (MSP)

La protection MSP (Multiplex Section Protection) est utilisée pour la sécurisation des liaisons point à point.

2.3.3.1.1. Protection 1 + 1

Elle consiste à réserver en secours un circuit équivalent au circuit protégé. Le circuit de secours dépend de l'architecture, il peut être constitué d'une fibre en cas d'un réseau unidirectionnel, ou d'une paire de fibre en cas d'un réseau bidirectionnel (fig2.22).

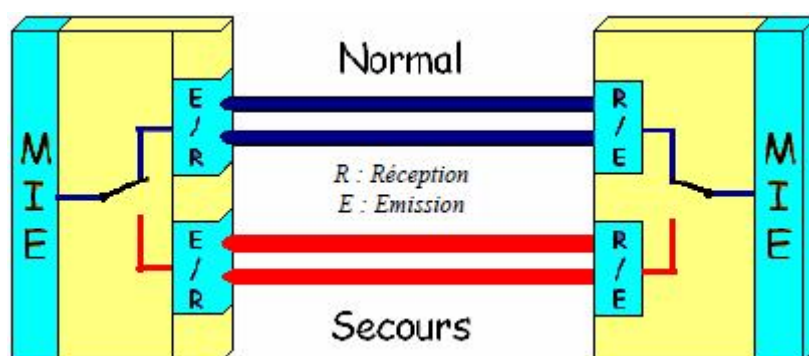


Fig 2.22 Protection 1 + 1

On remarque que les émissions sont toujours présentes sur les fibres normales et les fibres de secours ; c'est le côté réception qui choisit la fibre de secours s'il constate une défaillance des signaux reçus.

2.3.3.1.2. Protection 1 : 1

Elle consiste à utiliser simultanément deux dispositifs à demi-charge ; si l'un des dispositifs est défaillant, le deuxième est utilisé à pleine charge (pleine puissance) (fig2.23). Lors de l'utilisation à demi-puissance, il est admis d'utiliser l'autre demi-puissance disponible pour effectuer des travaux supplémentaires.

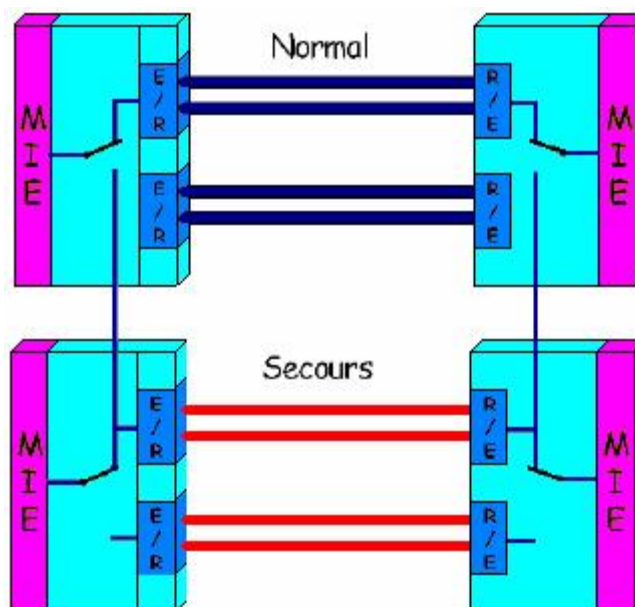


Fig 2.23 Protection 1 : 1

2.3.3.1.3. Protection m : n

Elle est dérivée de la protection 1 : 1, elle consiste à réserver n dispositif de secours pour protéger m dispositifs actifs, ainsi dans une liaison SDH m conduit actifs seront protégés par n conduit de secours.

2.3.3.2. Protection de conduit (SNCP)

La protection de la connexion de sous-réseau (Sub-Network Connexion Protection) est appliquée dans les topologies anneaux à deux fibres, l'une achemine le trafic en conditions normales et l'autre sert à la protection du réseau.

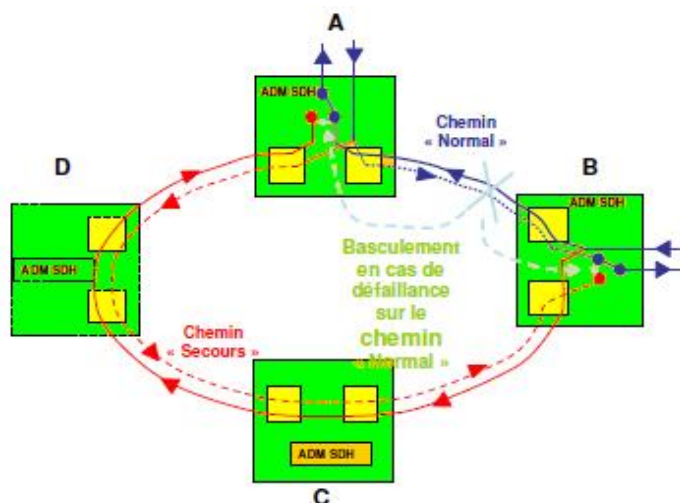


Fig 2.24 Protection du conduit

2.3.3.3. Protection de section de multiplexage partagée (MS-SPRING)

C'est le mécanisme de protection le plus avantageux pour les topologies de réseau en anneau. Dans la protection MS-SPRING (Multiplex Section Shared Protection Ring), on réserve la moitié de la capacité de l'anneau à la protection et l'autre moitié au transport du trafic.

En cas de défaillance, la commutation du trafic sur une fibre s'effectue vers la capacité de secours de l'autre fibre.

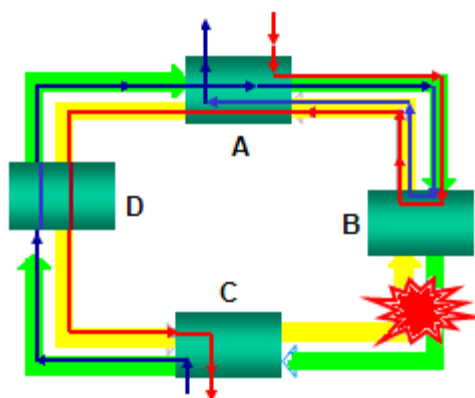


Fig 2.25 La protection MS-SPRING

2.3.3.4. Synchronisation d'un réseau SDH

La synchronisation parfaite des équipements du réseau SDH est la base du bon fonctionnement de ce réseau.

Le dispositif général de synchronisation est de type maître-esclave ; chaque équipement du réseau possède une horloge propre qui se synchronise sur une horloge de niveau supérieur ; l'horloge unique de plus fort niveau est appelée horloge primaire (PRC : Primary Reference Clock) qui a une précision de 10^{-11} .

Le schéma illustrant la hiérarchie et le secours en rythme est donné en figure 2.26.

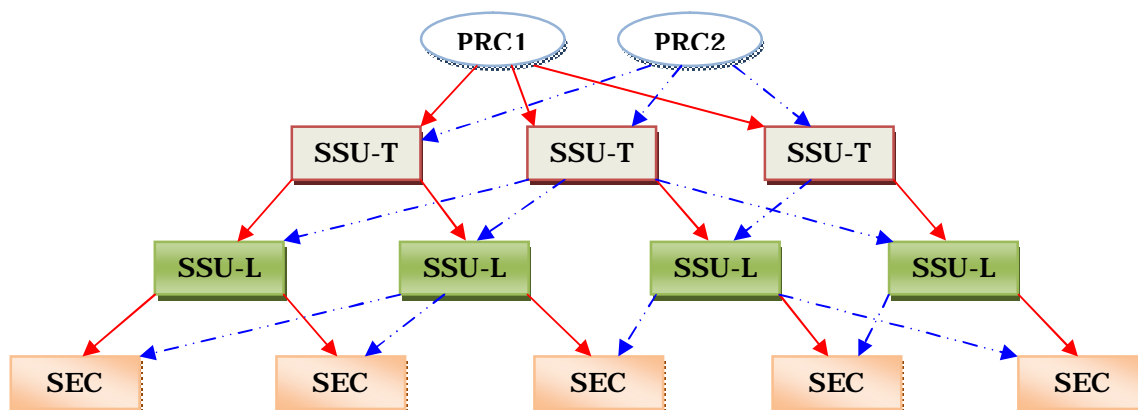


Fig 2.26 Organisation en hiérarchie des rythmes en SDH

Ce dispositif est dit en arbre, chaque rythme est issu du niveau immédiatement supérieur et aucun et aucun ne doit remonter.

Les horloges sont toutes rattachées donc pilotées par une horloge centrale à très haute précision, cette horloge centrale est doublée par une horloge de secours qui est souvent l'horloge GPS (Global Positioning System receiver) fournie par un satellite.

Chaque circuit d'horloge est doublé par un circuit de secours et le millage est effectué de manière telle qu'il y a au moins deux circuits d'horloge pour chaque équipement de réseau.

Le tableau 2.5 donne les principales caractéristiques des horloges d'un réseau.

- Ü Le nombre maximum de SSU dans une chaîne de distribution de rythme est de 10, le nombre maximum de SSU et de SEC pilotés simultanément est de 60.
- Ü Chaque horloge est identifiée par l'octet SSM (StatuS Message Byte), octet de message indiquant le statut de l'horloge ; c'est l'octet S1 dans le SOH des trames STM. Les codes utilisés sont :
 - 0010 pour PRC.
 - 0100 pour SSU-T (Subordinate Synchronisation Unit Transit).
 - 1000 pour SSU-L (Subordinate Synchronisation Unit Locale).
 - 1011 pour SEC.
 - 1111 pour DNU (Do Not Use, ne pas utiliser).
 - 0000 pour inconnue

Abréviations	Désignation	Précision	Norme UIT-T
PRC	Horloge primaire de référence	10^{-11} sur le long terme	G.811
SSU-T	Horloge asservie de nœud de transit	$50 \cdot 10^{10}$ variation quotidienne	G.812
SSU-L	Horloge asservie de nœud local	10^{-8} variation quotidienne	G.812
SEC	Horloge d'équipement	$5 \cdot 10^{-8}$ variation quotidienne	G.813

Tableau 2.5 Définition des horloges

2.4. Conclusion

La hiérarchie numérique synchrone s'implante dans le monde entier et supporte, complète, et parfois remplace même, la hiérarchie plésiochrone ; cette nouvelle technique fournit le maximum de disponibilité de bande passante avec une efficacité maintenant prouvée dans les dispositifs de secours mis en œuvre autant dans les lignes que dans les équipements.

CHAPITRE 3
**PRÉSENTATION DU BACKBONE NATIONAL
DE TRANSMISSION**

3.1. Introduction

De nos jours, les réseaux ont une très grande importance dans notre utilisation quotidienne. Que ce soit pour le travail ou le loisir, le réseau permet l'échange d'informations vitales dans notre société de communication actuelle. La course aux débits est le moteur d'une dynamique inaltérable. L'apparition de nouvelles technologies permettant des débits toujours plus élevés entraîne l'élaboration et la mise sur le marché d'applications toujours plus gourmandes en ressources.

Conscients du rôle vital des télécommunications dans le développement économique et socioculturel d'un pays, les dirigeants algériens ont consenti, d'importants investissements qui ont permis le déploiement d'un réseau national haut débit sur l'ensemble du territoire.

Dans ce présent chapitre, une brève présentation de la société « ATM Mobilis » sera faite. Viendra par suite, une présentation globale du Backbone SDH Algérien présentement en service.

3.2. Définition d'un Backbone

Le "Backbone" constitue le centre névralgique d'un réseau à haut débit. Littéralement "épine dorsale". Dans le contexte des réseaux de télécommunications, il désigne la partie qui supporte le gros du trafic, en utilisant les technologies les plus rapides et une grande bande passante sur des distances importantes.

3.3. Présentation de l'entreprise "ATM Mobilis"

La société « ATM Mobilis » a vu sa création suite à l'ouverture du secteur des postes et des télécommunications à la concurrence (stipulée par la loi 2000-03 du 5 août 2000). Cette ouverture avait comme résultats la création de deux opérateurs : Algérie Poste et Algérie Télécom entant qu'entreprises autonomes.

En août 2001, une première licence pour l'établissement d'un réseau et la fourniture des services GSM a été attribuée au groupe Orascom.

En 2002, Algérie Télécom a bénéficié d'une licence de régularisation pour ses activités fixe et mobile GSM et entre en phase opérationnelle à partir du 1^{er} janvier 2003, l'exploitation du réseau GSM, hérité du Ministère des Postes et Télécommunications, et la fourniture des services mobiles sont assurées par Algérie Télécom.

En août 2003, l'activité mobile d'Algérie Télécom a été filialisée et "ATM Mobilis" est créée en tant que société par actions.

En décembre 2003, une troisième licence GSM a été attribuée au Groupe Wataniya.

Pour faire face aux besoins de ces opérateurs entrants, Algérie Télécom (l'opérateur des opérateurs) déploie un réseau de télécommunications optique de grande capacité.

Mobilis est le 1^{er} opérateur de téléphonie mobile en Algérie. C'est une société par actions (SPA) au capital de 100.000.000 DA. Titulaire d'une licence cellulaire GSM depuis le 26 mai 2002, son chiffre d'affaires en 2009 est de 48 milliards de dinars et il couvre présentement environ 96.7 % de la population. Au 31 décembre 2008, Mobilis disposait d'un parc de 7,7 millions d'abonnés, soit une part de marché de 28,5%. Ses effectifs se situent autour de 3 600 agents tous postes et toutes activités confondus.

Son réseau est composé (fin de décembre 2006) de : 17 MSC, 3424 BTS, 58 BSC, une plate-forme de messagerie vocale, une plate-forme GPRS/MMS, une plate-forme de réseau intelligent, une plate-forme de messagerie SMS.

L'équipement de son réseau se fait par différents fournisseurs à savoir : ERICSSON, HUAWEI, NERA et ZTE.

ATM Mobilis propose à ces clients différentes offres : les offres prépayées (Mobilight, Mobiposte, Mobilis la Carte et Gosto) et les offres postpayées (Résidentiel, Forfait et Flotte).

3.4. Présentation du Backbone Algérien

Le Backbone Algérien fibre optique est constitué (fig 3.1):

- Deux systèmes d'anneaux SDH parallèle à (10 Gbit/s et 2,5 Gbit/s) reliant les trois grandes villes Alger-Oran-Constantine, en bouclant le trafic par la côte et les hauts plateaux (fig 3.2).
- Une passerelle à 10 Gbit/s entre Boughezoul et Laghouat pour l'interconnexion du Backbone Nord et Sud (fig 3.1).
- Les Boucles Régionales à 2.5 Gbit/s (Est ouest sud) (figures 3.3, 3.4 et 3.5).
- Un système d'anneau SDH à 2,5 Gbit/s pour la connexion du grand sud (fig 3.1).
- une boucle fibre optique DWDM à 80 Gbit/s.

Le réseau faisceaux hertziens algérien est représenté dans la figure 3.6

Les systèmes SDH sont constitués de:

✓ Liaisons nationales:

- Une liaison à 07 canaux 155 Mbit/s (7+1) reliant les nœuds principaux : Oran-Alger et Constantine
- Une liaison à 04 canaux 155 Mbit/s (4+1) reliant le nord et le sud entre Alger-Ouargla

✓ Liaisons régionales :

- Une liaison à 03 canaux 155 Mbit/s (3+1) reliant Alger-Lakhdaria-Bouira.

- Une liaison à 02 canaux 155 Mbit/s (2+1) reliant Ain Defla-Tiaret-Saida.
- Une liaison à 02 canaux 155 Mbit/s (2+1) reliant Souk Ahras-Tebessa.
- Une liaison à 02 canaux 155 Mbit/s (2+1) reliant In Amenas, Hassi Messaoud à Ouargla.
- Une liaison à 155 Mbit/s (1+1) reliant Adrar-Timimoun-El.Golea.
- Une liaison à (4+1) Batna-Biskra-El-Oued-Ouargla.
- Une liaison à (4+1) Constantine-O.E.B-Tebessa.

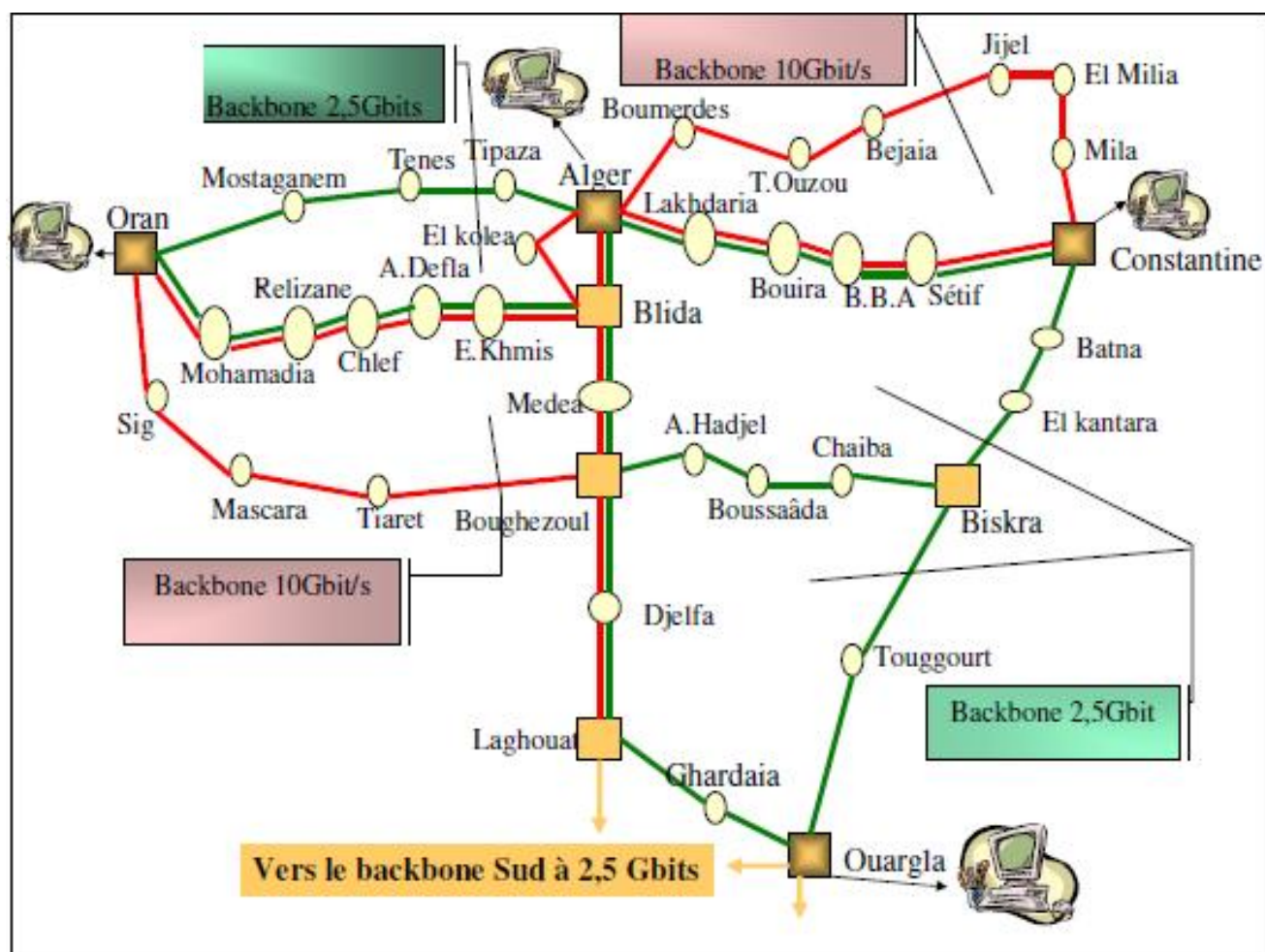


Fig 3.1 Le Backbone national

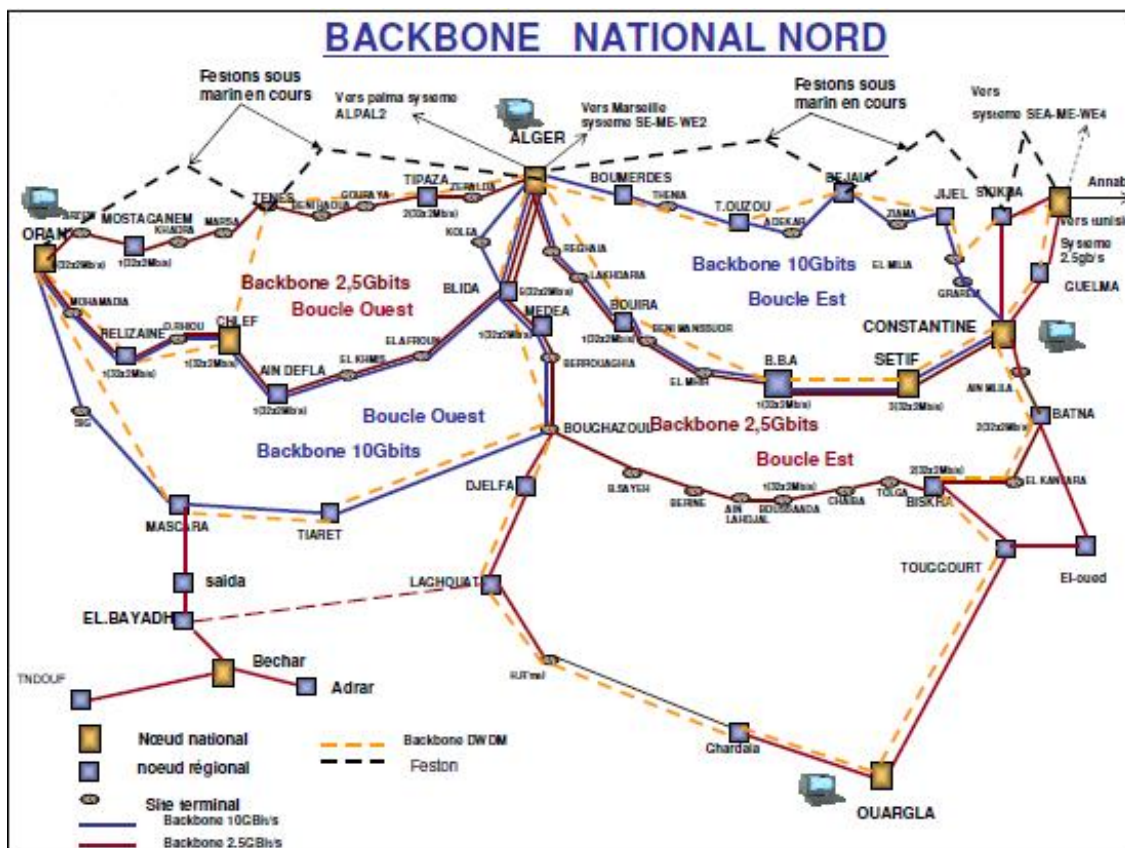


Fig 3.2 Le Backbone national NORD

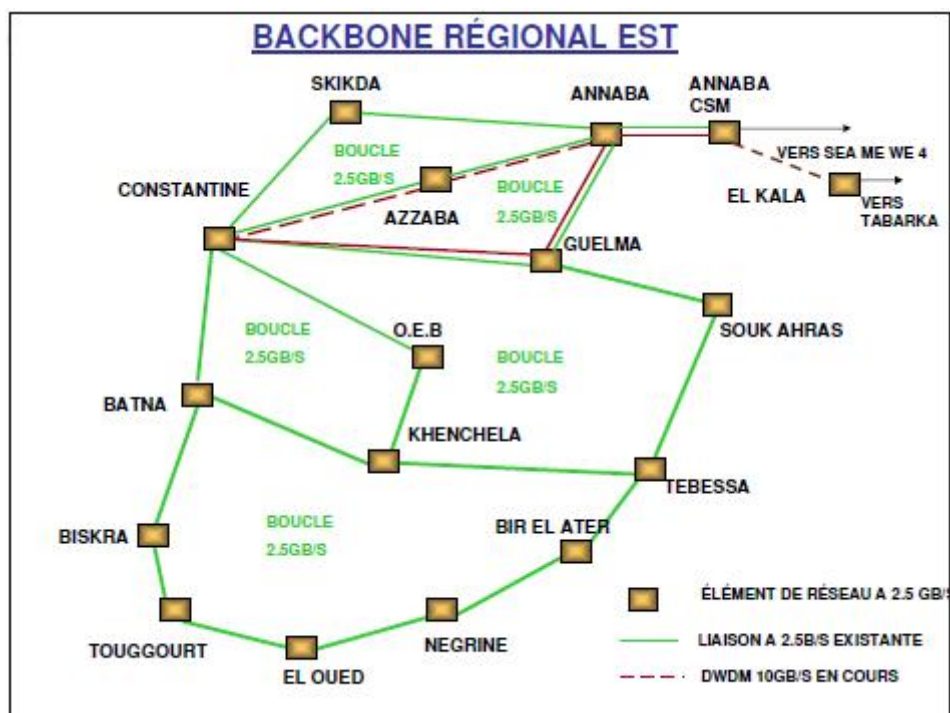


Fig 3.3 Les boucles régionales EST

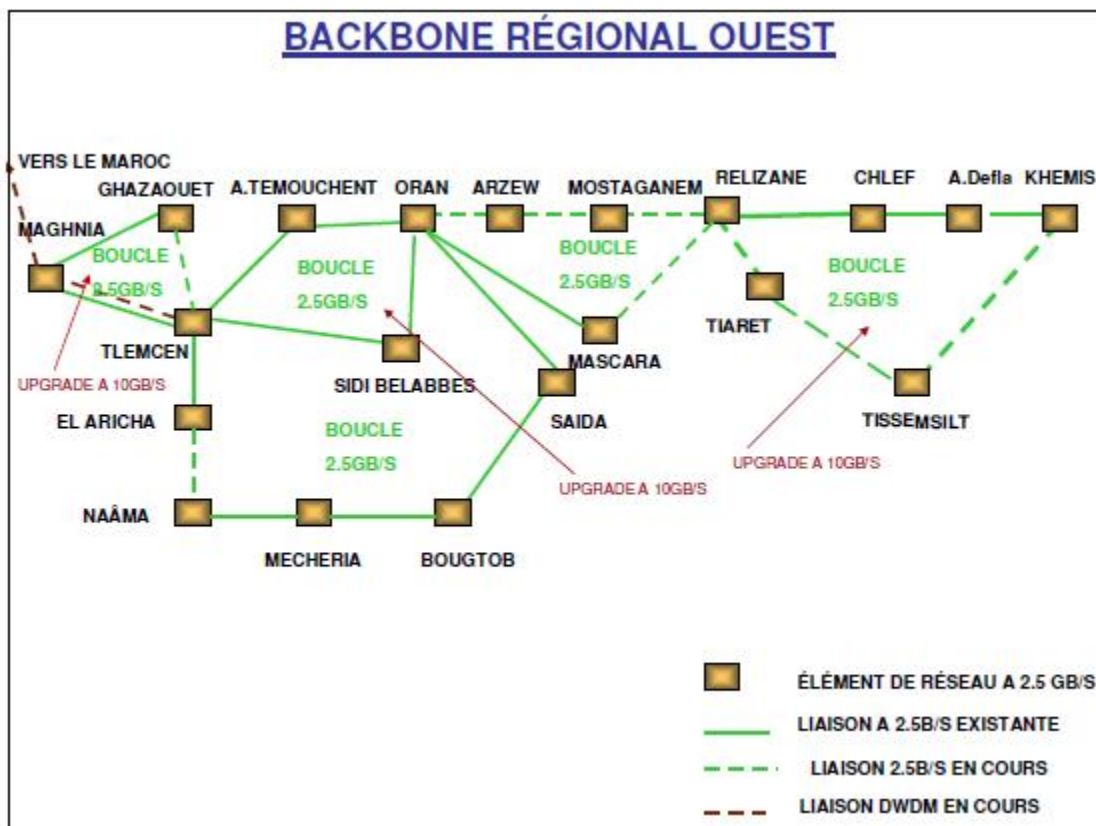


Fig 3.4 les boucles régionales OUEST

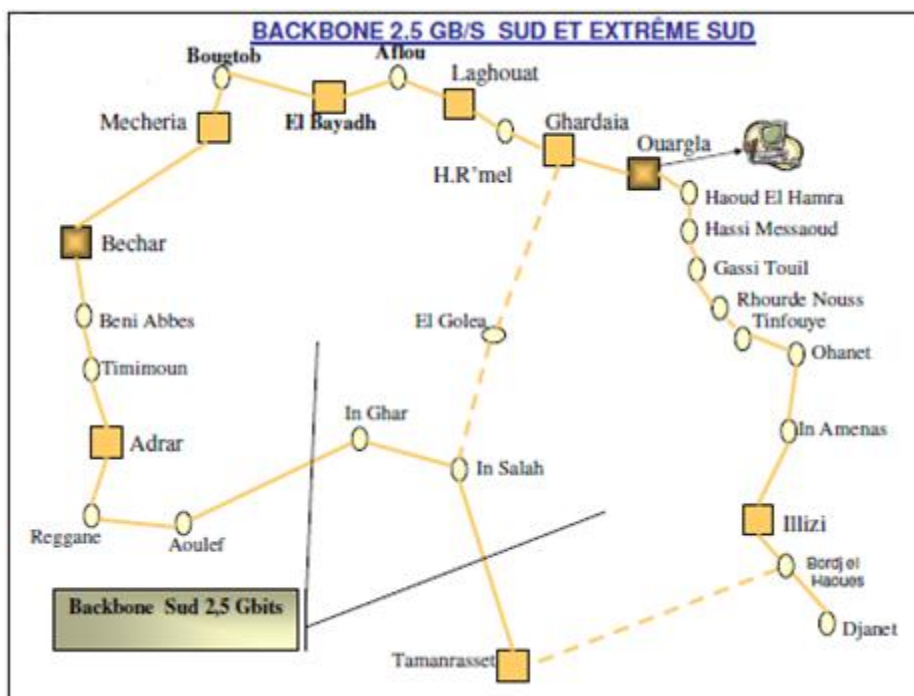


Fig 3.5 les boucles régionales SUD

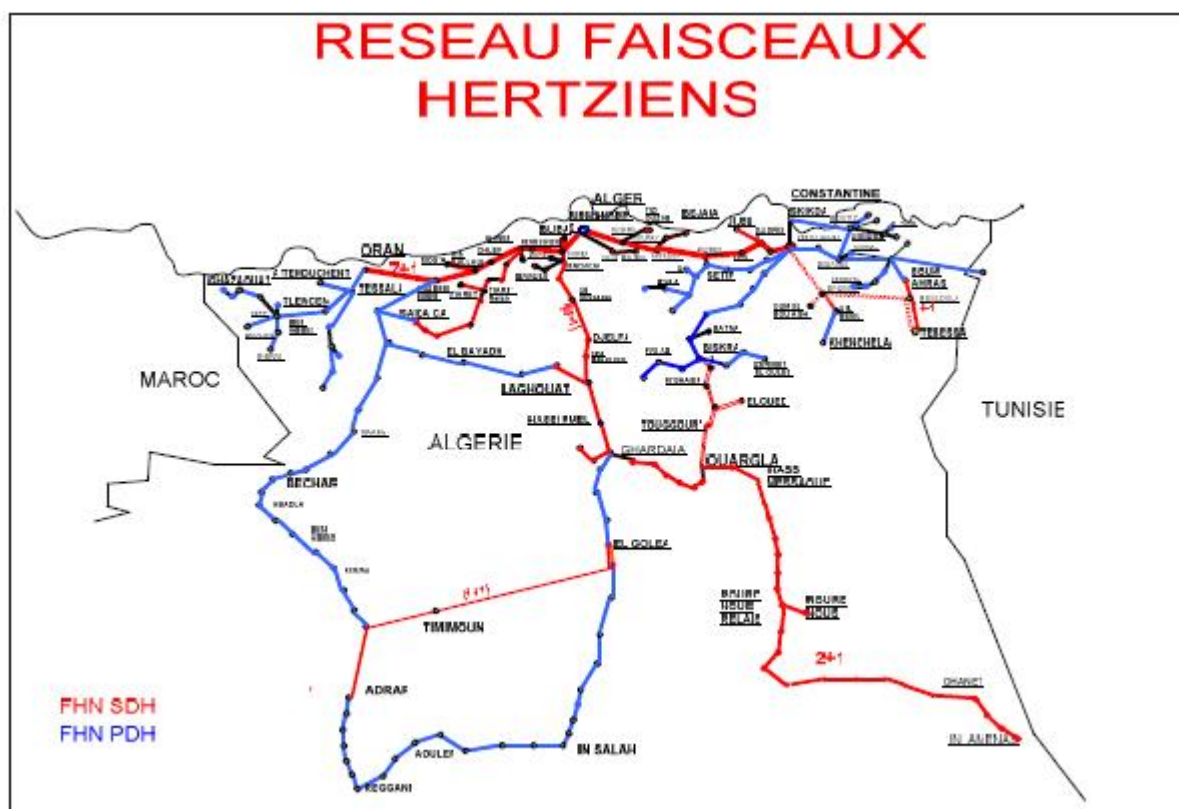


Fig 3.6 Réseau faisceaux hertziens

3.5. La synchronisation du réseau

La synchronisation du réseau SDH se fait par un système d'horloge qui est une combinaison d'horloge PRC (Césium et GPS) et de SSU (Rubidium + GPS).

La PRC est l'horloge de référence principale et autonome pour tout le réseau. Elle est conforme aux Normes G811 ITU-T. Installée à Alger, elle délivre un signal de synchronisation de 2048 KHz ou 2048 Kbit/s avec une précision de 10^{-11} . Une autre horloge de synchronisation de référence GPS sert à secourir en cas de défaillance de la PRC.

La SSU est une horloge secondaire équipée d'un module GPS et de 20 sorties de synchronisation à 2048 KHz extensibles à 60. Elle est installée à Oran, Constantine, Ouargla et Adrar.

La figure 3.7 représente le schéma de synchronisation de la boucle EST.

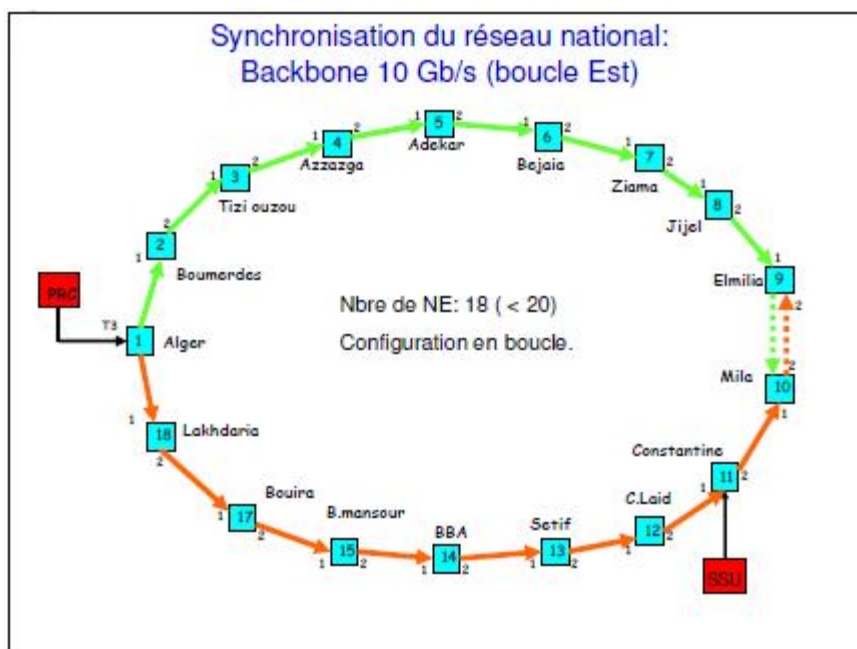


Fig 3.7 la synchronisation de la boucle EST

3.6. Le Système de Gestion et supervision

Le système utilisé est un système de gestion central de tout le Backbone à partir d'un point unique, il offre une grande redondance pour le hardware, une protection contre la panne totale, une sauvegarde complète des données et une supervision des applications et des processus.

Il Prend en charge la couche de gestion du réseau (performance, gestion des alarmes, configurations des équipements, brassage...)

Le système de gestion est constitué de :

- ✓ Un centre de supervision centrale redondant à Alger (serveur) qui supervise et gère tout le Backbone.
- ✓ Quatre stations de travail (Constantine, Oran, Bechar et Ouargla) conforme aux normes M 3010 de l'UIT-T.

3.7. Sécurisation du réseau

La sécurisation du Backbone est faite

- Protection de section : MSP (Multiplex Section Protection)
- Protection de conduit : SNCP (Sub-Network Connexion Protection)
- Protection de section : MS-SPRING (Multiplex Section Shared Protection Ring)
- Protection d'équipement : EPS (Équipement Protection System)

3.8. Conclusion

La libéralisation du secteur des Postes et des Télécommunications a drainé des investissements tant au niveau des liaisons de transmission longue distance que de la boucle locale, qui ont énormément fait baissé les coûts et créer l'éclosion de nouveaux services et des technologies alternatives au fil de cuivre.

L'Algérie modernise son réseau de télécommunications par la mise en œuvre du Backbone fibre optique de grande capacité DWDM parallèlement au réseau SDH en faisceaux hertziens pour satisfaire les besoins des opérateurs entrants, les banques, les entreprises et tous les utilisateurs afin de contribuer au mieux au développement National.

CHAPITRE 4

**RÉALISATION D'UN BACKBONE SOUS
SDH**

4.1. Introduction

Afin de moderniser le réseau existant, la Wilaya de TIZI-OUZOU a bénéficié d'un nouveau Backbone faisceaux hertziens équipé des dernières technologies. Cette boucle dorsale régionale assurant le transport des flux de télécommunications entre les principales unités urbaines de la région.

Dans ce chapitre, nous allons citer les différentes étapes de réalisation de ce Backbone.

4.2. Topologie du Backbone SDH de Tizi-Ouzou

L'installation d'un Backbone nécessite une étude au préalable pour le choix du terrain à savoir viabilité du lieu de réalisation ayant accès et bonne situation pour couvrir un nombre important de localités avoisinantes et avec un champ libre en dominant ces dernières pour être bien desservis.

Après une étude approfondie, le choix c'est porté sur les localités suivantes : Draa El Mizane (DEM), BALOUA, TIZI-OUZOU (T-O), AZAZGA, AIN EL HAMMAM (AEH) et LARABAA NATHIRATHEN (LNI) avec deux stations relais qui sont TALAGUILEF ET ICHARIOUENE, soit une distance de 180.43 Km.

La topologie de ce Backbone est représentée dans la figure 4.1. Une présentation plus détaillée est donnée dans l'annexe III.

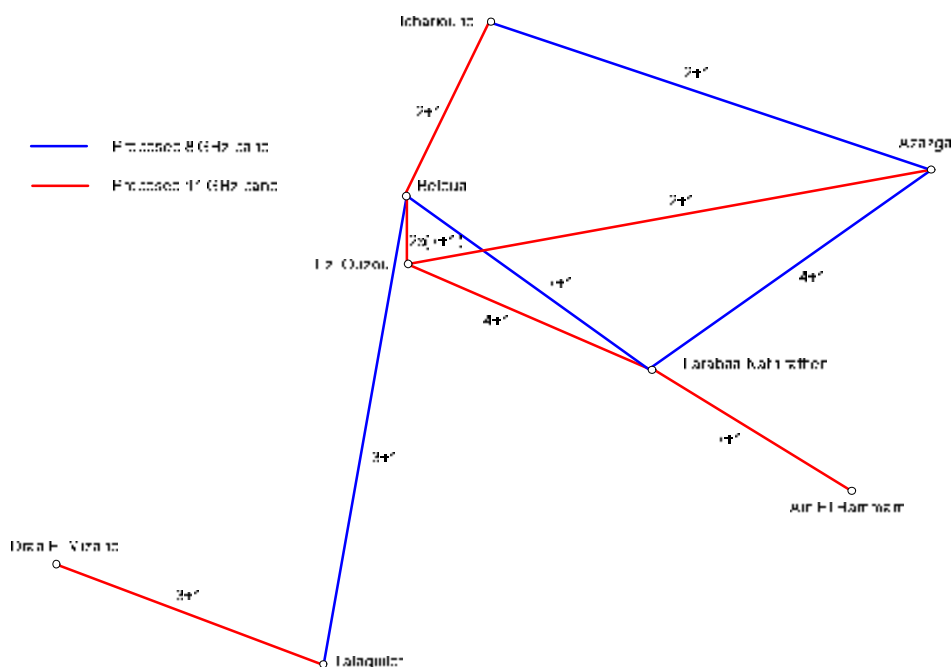


Fig 4.1 Backbone SDH - Tizi-Ouzou

Il est sont constitués de:

- Deux liaison à 07 canaux 155 Mbit/s (7+1) reliant Tizi-Ouzou à Baloua.
- Une liaison à 03 canaux 155 Mbit/s (3+1) reliant Tizi-Ouzou à LNI.
- Une liaison à 02 canaux 155 Mbit/s (2+1) reliant Tizi-Ouzou à Azazga.
- Une liaison à 02 canaux 155 Mbit/s (2+1) reliant Baloua à Azazga.
- Une liaison à 03 canaux 155 Mbit/s (3+1) reliant Beloua à Draa El Mizane.
- Une liaison à 07 canaux 155 Mbit/s (7+1) reliant Beloua à LNI.
- Une liaison à 07 canaux 155 Mbit/s (7+1) reliant LNI à Ain El Hammam.
- Une liaison à 03 canaux 155 Mbit/s (3+1) reliant Azazga à LNI.

4.3. La matrice du trafic

Les débits transportés sur ce Backbone sont représentés dans la figure 4.2.

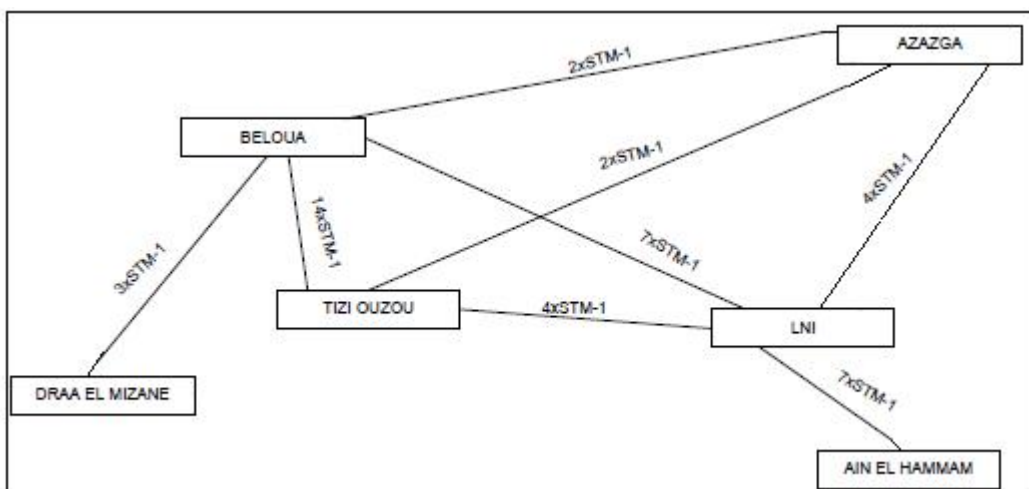


Fig 4.2 La matrice du trafic

Le tableau 4.1 résume tous les trafics transportés sur ce Backbone.

	E1	FE	E1	FE	E1	FE	E1	FE	E1	FE	E1	FE
	T-O		LNI		AEH		Azazga		Beloua		DEM	
T-O			336	2	273	2	210	2	126		147	2
LNI	336	2			126		252					
AEH	273	2	126									
Azazga	210	2	252									
Beloua	126											
DEM	147	2										

Tableau 4.1 Trafic transporté sur le Backbone

Pour une présentation plus détaillée de la matrice du trafic, voir annexe III.

4.4. Le plan des fréquences

Les plans de fréquences utilisés sont conformes à la Recommandation ITU- RF.

Les bandes de fréquences utilisées sont 8 GHz et 11 GHz.

La bande 8 GHz est conforme à la Recommandation ITU-RF. 386 -6. La largeur de bande des canaux est de 29.65 MHz tel que :

$$f_n = f_0 - 281.95 + 29.65 n$$

$$f'_n = f_0 + 29.37 + 29.65 n$$

$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ou 8

$f_0 = 8000$ MHz.

f_n = fréquence de la demi-bande inférieure.

f'_n = fréquence de la demi-bande supérieure.

La bande 11 GHz est conforme à la Recommandation ITU-RF. 387 - 9. La largeur de bande des canaux est de 40 MHz tel que :

$$f_n = f_0 - 525 + 40 n$$

$$f'_n = f_0 + 5 + 40 n$$

$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ ou 12

$f_0 = 11200$ MHz.

Le plan de fréquence utilisé pour ce nouveau Backbone est donné en détaille dans l'annexe III.

4.5. Présentation des équipements utilisés

Les équipements utilisés sur ce Backbone sont fournis par la société norvégienne NERA.

Le système de transmission par faisceau hertzien de la série Évolution de NERA est conçu pour transmettre des débits de données allant d'environ 6 Mb/s à 1 550 Mb/s, dans les bandes de fréquence de 5 GHz à 40 GHz.

Le système de transmission par faisceau hertzien de la série Evolution fait appel aux dernières innovations technologiques, à un degré élevé d'intégration des circuits RF, en utilisant des circuits intégrés monolithiques hyperfréquences (MMIC, Monolithic Microwave Integrated Circuits), en association avec une modulation RF directe avancée : il en résulte une conception compacte, révolutionnaire, à large bande, au service d'un module hertzien à puissance élevée. Cette technologie brevetée est révolutionnaire de par sa faible consommation d'énergie et sa fiabilité élevée.

4.5.1. L'unité d'interface (IFU)

L'IFU de la série Évolution est une unité très modulaire (fig 4.3), dotée de 9 logements de connexion destinés à recevoir diverses unités. Son architecture modulaire avec ses logements de connexion offre un degré élevé de flexibilité, simplifie les mises à niveau (modifications de configurations) et facilite la maintenance.

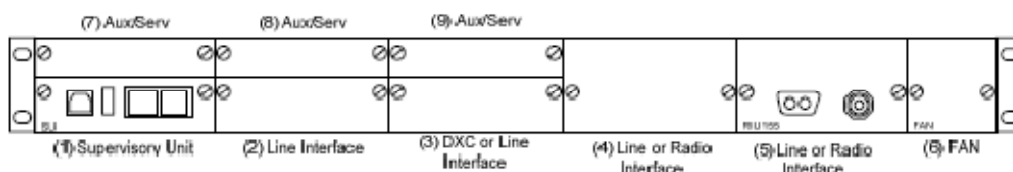


Fig 4.3 L'unité d'interface (IFU)

- Ø L'emplacement en bas à gauche (1) contient l'unité de supervision. Elle gère la configuration de toutes les unités du système et transmet les rapports d'état du système.
- Ø L'emplacement à l'extrême droite (6) abrite l'unité de ventilation, en charge de la gestion de la ventilation et de la température du module IFU.
- Ø Les unités d'interface de ligne peuvent être placées dans les logements 1-5 en fonction de la configuration du système.
- Ø L'unité DXC doit être placée dans le logement 3.
- Ø Les unités d'interface radioélectrique et l'unité d'alimentation doivent être placées dans les logements 4 ou 5.
- Ø Les logements Aux/Serv supérieurs (7, 8 et 9) abritent toutes les unités auxiliaires ou les unités de canal de service, comme l'unité d'alarmes et de contrôle.

4.5.2. Unité externe (ODU)

L'ODU comprend un XCVR (Transmitter/Receiver). Il se monte en principe directement sur l'antenne. Dans les configurations 1+1/2+0 un coupleur RF est utilisé lors de la connexion de l'ODU à l'interface d'antenne (fig 4.5).

Un kit d'assemblage sur mât en option est également disponible.

Le XCVR est constitué de l'émetteur et du récepteur et il est accordable sur la totalité de la bande de fréquence.



Fig 4.4 L'unit externe (ODU)

4.5.3. Le MUX TJ100ME

Le MUX TJ100ME est un multiplexeur à insertion-extraction (ADM). Il est constitué de 10 logements disposés selon la figure 4.5.

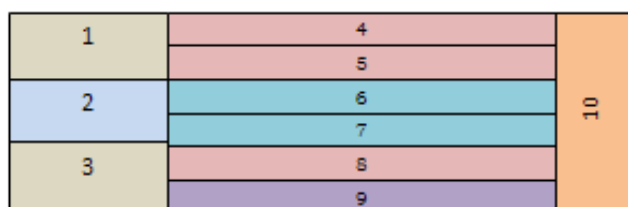


Fig 4.6 Schéma bloc de l'ADM TJ100ME

- Le bloc 1 contient la carte d'alimentation.
- Le bloc 3 contient la carte d'alimentation de secours.
- Le bloc 2 contient l'unité de supervision et de synchronisation.
- Les blocs 4, 5 et 8 comportent chacun une à dix cartes à accès STM-1.
- Le bloc 9 abrite une à dix cartes Giga Ethernet.
- Les blocs 6 et 7 comportent une à dix cartes à accès STM-1 radio.

4.6. L'installation de l'équipement

L'équipement est conçu pour permettre une installation facile et rapide destinée à une utilisation stationnaire dans des installations intérieures ou à montage scindé. Deux types de configurations ont été utilisés dans la réalisation de ce Backbone.

4.6.1. Installation intérieur (Long Haul Configuration)

Les systèmes intérieurs sont constitués d'un système d'aiguillage de canal RF avec des XCVR et une ou plusieurs IFU sont normalement montées dans un rack de 19" (fig 4.5). L'ODU est reliée à l'antenne par un guide d'onde elliptique pressurisé.

Les configurations possibles sont :

- n+1 (n=1 à 9)
- n+0 (n=1 à 10)

Des mises à terre sont faites pour protéger les équipements internes.

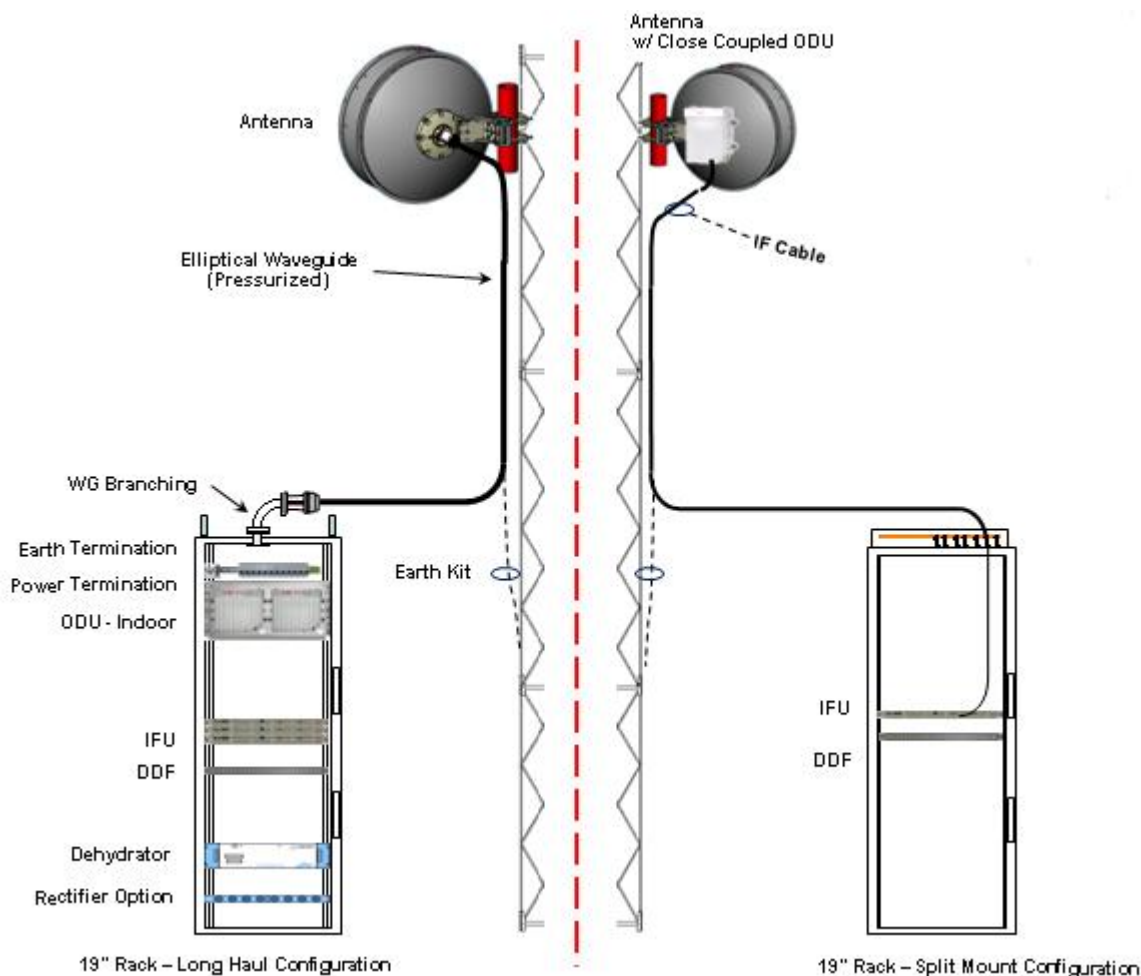


Fig 4.5 Types de configurations

4.6.2. Montage scindé (Split Mount Installation)

Les systèmes à montage scindé sont constitués d'une IFU et d'une ODU interconnectées avec un câble coaxial (fig 4.5). Un câble est utilisé pour chaque ODU (en d'autres termes, deux câbles sont nécessaires pour des systèmes 1+1/2+0). L'IFU peut être installée en tant qu'unité autonome, ou elle peut être montée dans un rack standard de 19 pouces ou dans une armoire standard. L'ODU peut être montée directement sur l'antenne pour des tailles d'antenne pouvant atteindre jusqu'à 1,8 m de diamètre. Lorsque l'ODU n'est pas montée directement sur l'antenne, un guide d'ondes court et flexible sert à connecter l'ODU au port de l'antenne (fig 4.6).

La polarisation des ondes est prédéfinie par la position de l'ODU sur l'antenne.

La longueur du câble coaxiale utilisé entre l'ODU et l'IFU peut atteindre 300 m mais dans ce Backbone la longueur maximale est de 84 m.

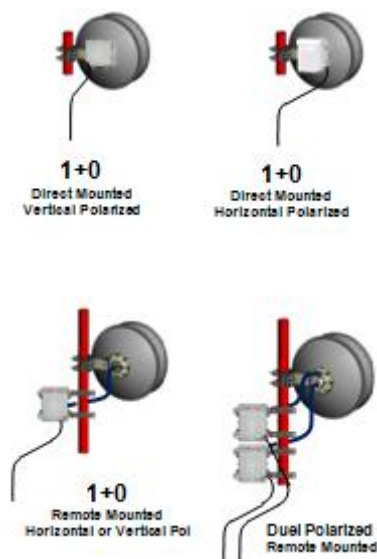


Fig 4.6 Configuration des ODUs

Le tableau 4.2 résume les caractéristiques des liaisons du Backbone SDH de TIZI-OUZOU.

Liaison	Bande de fréquence	Longueur Km	Configuration	Nbre de canaux	Nbre d' STM-1
TO-BELOUA	11 GHz	4.09	Lang Haul	2x (7+1)	14
TO-LNI	11 GHz	14.82	Lang Haul	4+1	4
TO-AZAZGA	11 GHz	29.13	Split Mount	2+1	2
BALOUA-TALAGUILEF	8 GHz	29.71	Split Mount	3+1	3
BALOUA-LNI	8 GHz	17.1	Lang Haul	7+1	7
BALOUA-ICHARIOUENE	11 GHz	11.52	Split Mount	2+1	2
LNI-AEH	11 GHz	13.15	Lang Haul	7+1	7
LNI-AZAZGA	8 GHz	19.42	Lang Haul	4+1	4
AZAZGA-ICHARIOUENE	8 GHz	25.7	Split Mount	2+1	2
TALAGUILEF - DEM	11 GHz	15.79	Split Mount	3+1	3

Tableau 4.2 Caractéristiques des liaisons du Backbone

4.6.3. Dimensions

IFU	444 mm (W) x 225 mm (D) x 44 mm.
ODU	6 - 11 GHz: 228 mm (W) x 197 mm (D) x 240 mm (H) 13 - 38 GHz: 218 mm (W) x 177 mm (D) x 230 mm (H)
Coupleur RF	6 - 11 GHz: 232 mm (W) x 102 mm (D) x 415 mm (H) 13 - 38 GHz : 220 mm (W) x 106 mm (D) x 374 mm (H)

4.6.4. Poids

IFU	2,5 kg
ODU	6 - 11 GHz: 8,0 kg 13 - 38 GHz : 6.5 kg
Coupleur RF	5 kg

4.6.5. Les antennes

Les caractéristiques des antennes utilisées sont portées dans le tableau 4.3

Fréquence (GHz)	Diamètre (m)	Gain (dB)		
		Faible	Milieu	Élevé
7,125 à 8,500	0.6	29.5	30.7	31.9
	0.8	33.2	33.9	34.3
	1.2	36.8	37.3	37.7
	1.8	40.0	40.8	41.1
10,700 à 11,700	0.6	34.0	34.5	35.0
	0.8	36.8	37.5	38.1
	0.8	37.0	37.4	38.1
	1.2	40.0	40.4	40.8
	1.8	43.3	43.6	43.9

Tableau 4.3 Les caractéristiques des antennes

4.7. Alimentation électrique

L'équipement est alimenté par une batterie de -40,5 volt à -57 volt, soit une alimentation nominale de -48 VCC.

L'unité extérieure est alimentée à partir de l'unité intérieure par le biais du câble coaxial IFU-ODU.

4.8. Caractéristiques du signal radioélectrique

Les valeurs portées dans le tableau 4.4 ont été mesurées avec un taux d'erreurs inférieur à 10^{-6} dBm.

Bande de fréquence	8 GHz	11 GHz
Puissance de sortie [dBm]	24-29	22-27
Puissance reçue [dBm]	-30 à -37	-28 à -35
Seuil de réception [dBm]	-73.5	-73
Le gain [dB]	97.5 à 102.5	93 à 100

Tableau 4.4 Caractéristiques du signal

4.9. La synchronisation

La synchronisation de ce réseau se fait par :

- Une horloge externe à 2,048 MHz (PRC basée à Alger) fiable et placée en priorité 1
- Un affluent de 2Mbit/s, en priorité 2
- L'oscillateur interne en cas de perte de synchronisation en priorité 3.

4.10. Supervision du Backbone

Le puissant système de supervision intégré de la Série Évolution offre un accès utilisateur aux éléments réseau (NE) d'une manière des plus dynamiques. La fonction de gestion dans l'élément réseau est accessible par le biais d'un navigateur internet ou par un gestionnaire SNMP (Simple Network Management Protocol : Protocole simple de gestion de réseaux) tel que NetMaster, le système de gestion de NERA.

Un élément réseau contrôle toutes les unités connectées à un nœud spécifique avec une unité de supervision commune. Le logiciel d'élément réseau effectue les tâches de gestion suivantes :

- Gestion des anomalies
- Gestion des performances
- Gestion de la configuration
- Gestion de la sécurité

Deux types de supervision sont effectués : la supervision coté radio et la supervision coté ADM.

4.11. Conclusion

Son installation terminée, ce nouveau Backbone, fiable dans sa réalisation et avec des équipements modernes, offrira une meilleure qualité de service et un trafic sécurisé, synchronisé et supervisé.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce mémoire est de présenter d'une manière la plus complète et la plus claire possible le concept de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) dans les réseaux, les bases théoriques nécessaires à sa compréhension, de son architecture, de son fonctionnement et de son utilisation.

Malgré leur simple réalisation et leur coût moindre, les réseaux faisceaux hertziens numériques SDH restent limités dans les débits transportés (1.5 Gbit/s).

Pour surpasser cette limitation, la fibre optique apporte des améliorations considérables en terme de débits, mais pas uniquement. En effet la fibre optique est plus fiable, plus performante et reste, à ce jour, le meilleur support de transmission.

En effet, le Backbone fibre optique atteint des débits de 40 Gbit/s sur une portée de 80 Km sans aucune régénération. Des débits de l'ordre du téraoctets par secondes sont envisageables lorsqu'on utilise le multiplexage WDM.

L'évolution vers les réseaux « tout optique » sera certainement un fait marquant pour les années à venir, si pour l'instant ces technologies sont réservées aux réseaux WAN et MAN leur introduction dans l'environnement LAN ne relève pas de l'utopie et sera une grande avancée pour l'Algérie.

Le présent travail a été très utile pour nous, on a amélioré nos connaissances dans le domaine des télécommunications sous la conduite clairvoyante d'ingénieurs et de techniciens qui ont su transmettre leurs connaissances théoriques et pratiques.

ANNEXES

Annexe I :

Modèle Open Systems interconnection (OSI)

1. Définition du modèle OSI

Le modèle OSI a été mis en place par l'organisme ISO en 1984, cette norme permet d'assurer une communication universelle entre les ordinateurs d'un réseau, et d'assurer l'interopérabilité ou compatibilité du matériel, et logiciels réalisés par les concepteurs.

Il est constitué de plusieurs couches, 7 couches au total. Chaque couche a un but précis, elle communique avec une couche adjacente, c'est-à-dire la couche du dessous ou la couche du dessus. Ainsi chaque couche utilise les services des couches dites inférieures et les fournit aux couches dites extérieures.

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

2. Définition des couches du modèle OSI

Le tableau suivant résume les différentes couches et leurs caractéristiques.

Les couches		Caractéristiques
1	Application	Gère l'accès des applications au service du réseau et contrôle le flux et les corrections d'erreurs.
2	Présentation	Transforme les données reçus dans un format reconnu par les applications, gère la conversion des protocoles et l'encodage des données.
3	Session	Permet de créer, d'utiliser, d'achever une connexion entre deux ordinateurs.
4	Transport	Transporte les données émis par l'émetteur, en les segmentant, et les rassemble sur le récepteur.
5	Réseau	Sélectionne le meilleur chemin entre deux hôtes (routage et adressage).
6	Liaison de données	S'occupe de l'adressage, la notification des erreurs, assure des trames ordonnées et contrôle le flux.
7	Physique	Définit les signaux et les média, c'est-à-dire les spécifications électriques, fils, connecteurs, tension, répéteur...

Annexe II :

Les recommandations utilisées

G.652	Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes.
G.653	Caractéristiques des câbles à fibres optiques monomodes à dispersion décalée.
G.692	Interfaces optiques pour systèmes multicanaux avec amplificateurs optiques
G.702	Débit binaire de la SDH.
G.703	Caractéristiques physiques et électriques des jonctions.
G.704	Structures de trames synchrones.
G.707	Interface de nœud de réseau pour la SDH.
G.709	Structure de multiplexage synchrone
G.784	Gestion de la SDH
G.811	Caractéristiques de l'horloge de référence primaire (PRC).
G.812	Caractéristiques de l'horloge de nœud de transit.
G.813	Caractéristiques de l'horloge de nœud locale.
G.841	Types et caractéristiques des architectures de protection pour réseaux en SDH.
G.957	Interface optique pour les équipements et les systèmes relatifs à la SDH.
G.958	Systèmes en ligne numériques fondés sur la SDH, pour l'utilisation sur câbles à fibres optiques.
ITU-RF.386-6	Radio-frequency channel arrangements for medium and high capacity analogue or digital radio-relay systems operating in the 8 GHz band
ITU-RF.387-9	Radio-frequency channel arrangements for radio-relay systems operating in the 11GHz band

Annexe III :

Topologie et le plan de fréquences du Backbone Tizi-Ouzou

Des représentations plus détaillées et plus complètes du quatrième chapitre du Backbone SDH de Tizi-Ouzou sont données dans les pages suivantes.

GLOSSAIRE

GLOSSAIRE

Δ M	Delta Modulation
ϕ M	Modulation de phase
A Δ M	Adaptative Delta Modulation
ADM	Add-Drop Multiplexeur
AM	Amplitude Modulation
AMI	Alternate Mark Inversion
APS	Automatic Protection Switching
ASK	Amplitude Shift Keying
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AUG	Administrative Unit Groupe
AU-n	Administrative Unit level n
BLU	Bande Laterale Unique (SSB)
CCITT	Comite Consultatif International Télégraphique Et Téléphonique
CDM	Code Division Multiplex
CEPT	Conférence européenne des Postes et Télécommunications
C-n	Container level n
DCC	Data Communication Channel
DPCM	Modulation PCM Différentielle
DS	Digital Section
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DXC	Digital Cross Connect
FDM	Frequency Division Multiplex
FH	Faisceau Hertzien
FM	Frequency Modulation
FO	Fibre Optique
FSK	Frequency Shift Keying
GPS	Global Positionning System
GUA-n	Groupe d'Unité Administrative niveau n
HDB3	High Density Bipolar code
HOP	High Order Path
HVC	High Virtuel Container
IFU	InterFace Unit
LAN	Local Area Network
LOP	Low Order Path).
LVC	Low Virtuel Container
MADM	Multi ADM
MAN	Metroplitan Area Network
MIC	Modulation par Impulsions Codées (PMC)
MIE	Multiplexeurs Insertion - Extraction
MSOH	Multiplex Section Overhead
MSP	Multiplex Section Protection
MS-REI	Multiplex Section Remote Error Indication
MS-SPRING	Multiplex Section Shared Protection Ring
NE	Network Element
NNI	Node Network Interface

OC-n	Optical Carrier level n
ODU	OutDoor Unit
OOK	On-Off Keying (modulation “ tout-ou-rien”)
OSI	Open Systems Interconnection
PAM	Modulation d’impulsions en amplitude
PCM	Pulse Code Modulation (MIC)
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PDM	Pulse Duration Modulation
PFM	Pulse Frequency Modulation
POH	Path Overhead
PPM	Pulse Position Modulation
PRC	Primary Reference Clock
PSK	Phase Shift Keying
PTR	Poiter
RNIS	Réseau Numérique à Intégration De Services
RSOH,	Regeneration Section Overhead
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SNCP	Sub-Network Connexion Protection
SOH	Section Over Head
SOH	Section Over Head
SONET	Synchronous Optical NETwork
SSB	Single Sideband (BLU)
SSU	Subordinate Synchronisation Unit
STM-1	Synchronous Transport Module 1
STM-n	Synchronous Transport Module level n
STS-1	Synchronous Transport Signal level 1
TDM	Time Division Multiplex
TM	Terminal Multiplexer
TOH	Transport Over Head
TUG-n	Tributary Unit Group level n
TU-n	Tributary Unit level n
UIT	Union Internationale des Télécommunications
UIT-T	Secteur de normalisation à UIT
VC-n	Virtuel Container level n
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XCVR	Transmitter/Receiver

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

LES OUVRAGES

- BOUYER GÉRARD. Les réseaux synchrones étendus. Hermes. 1997.
- FONTOLLIET. P.G. Systèmes de Télécommunications-Traité d'électricité, vol 4, éditions EPFL.
- JOINDOT IRÈNE ET MICHEL. Les télécommunications par fibres optiques. Dunod. 1996.
- LARANGE XAVIER, PHILIPPE GODLEWSKI, SAMI TABBANE. Réseaux GSM : "des principes à la norme". Hermes Sciences. 2000.
- LECOY PIERRE. Principes et technologies des télécoms. Hermes Sciences. 2005.
- LECOY PIERRE. Technologie des télécoms. Hermes Sciences. 1999.
- LORENZ PASCAL. Architectures des réseaux et télécommunications. Ellipses. 2001.
- G. MARAL, M. BOUSQUET, J. PARES. Les systèmes de télécommunication par satellites. Masson. 1982.
- SUEMATSU. Y, KEN-ICHI IGA traduit par D. DE PARDIEU. "Transmission sur fibre optique" Technologie générale. Masson. 1984.
- SURMELY PHILIPPE. La fibre optique " Technologies et applications". Masson. 1995.

LES THESES

- SCHIFF IDIR, HEMROUNE MOHAMED. Évolution du réseau SDH vers la technologie DWDM. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 2007.
- AIT SEDDIK AISSAM, HARBANE MARZOUK. Etude de la SDH et son application dans le réseau GSM. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou. 2007.

REVUES ET DOCUMENTS

- Mobilis la revue. Publication bimestrielle d'ATM Mobilis N°5. 2009.
- Mobilis le journal. Publication bimestrielle d'ATM Mobilis N°1. 2006.
- Evolution Series Technical Description C. Nera Networks. 2008.

SITES WEB

<http://www.huawei.com>

<http://www.itu.int>

<http://www.tektronix.com>

<http://www.jdsu.com>

<http://www.wikipedia.fr>