



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique
et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique

جامعة جيلالي ليابس سيدي
بلعباس
Université
Djillali Liabès
de Sidi Bel Abbès



Faculté de Génie Electrique
Département de Télécommunications
Master académique: Réseaux et Télécommunications

Semestre 2

Matière

RÉSEAUX D'OPÉRATEURS

Dr. B. FASSI

2018

Avant- Propos

Ce cours a été conçu pour couvrir le programme de la matière Réseaux d'opérateurs en Master Réseaux et Télécommunications.

« L'objectif de cette matière est d'apprendre aux étudiants les fondements de base des technologies mis en œuvre par les opérateurs pour construire et mettre en œuvre leurs systèmes de transmission. Il s'agit donc de comprendre les concepts d'accès aux réseaux, les principes de la commutation, du routage des informations et aussi des nouveaux services multimédia» CPNDST.



CPNDST

MASTER ACADEMIQUE: Réseaux et Télécommunications

Etablissement	Faculté	Département
Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès	Génie Electrique	Télécommunication

Domaine	Filière	Spécialité
Sciences et Technologies	Télécommunication	Réseaux et Télécommunications

Semestre 2

Unité D'enseignement	Matière	Crédit -s	Coefficient	Volume Horaire Hebdomadaire	Volume Horaire Semestriel (15 Semaines)	Travail Complémentaire En Consultation (15 Semaines)	Mode D'évaluation
	Intitulé			Cours			Examen
UE Découverte Code: UED 1.2	Réseaux d'opérateurs	1	1	1h30	22h30	02h30	100%

Connaissances préalables recommandées :

Téléphonie, Protocoles de communication, modèle OSI, les éléments d'un réseau.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Rappels sur la Téléphonie 'classique' (02 semaines)

Les services RTC (réseaux Téléphonique Commuté). Architecture du réseau téléphonique. La commutation.

Chapitre 2. Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs (02 semaines)

Réseaux d'accès / de transport, Rôle des opérateurs. Architectures.

Chapitre 3. Transport des données PDH et SDH (03 semaines)

Présentation PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) et SDH (Synchronous Digital Hierarchy), Multiplexage temporel, Hiérarchie PDH, Hiérarchie SDH, IP sur SDH.

Chapitre 4. Réseau de transport optique (04 semaines)

Evolution de l'infrastructure transport. Technologies WDM (Wavelength Division Multiplexing) et DWDM (Dense WDM), Applications (Réseaux Métropolitains, Réseaux longues distances ...etc). Exemples d'architectures.

Chapitre 5. Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia (04 semaines)

Le concept cellulaire, architecture GSM, architecture GPRS, architecture UMTS, architecture LTE. Les Supports OSS, BSS. Service Wap (Wireless Application Protocol), protocoles SIP (Session Initiation Protocol), IMS (IP Multimedia Subsystem).

Table des Matières

	Avant- Propos	I
	Programme CPNDST	II
	Table des Matière	III
	Glossaire	V
	Liste des Figures	VIII
	Liste des Tableaux	IX
1	Chapitre1. Rappels sur la Téléphonie 'classique'	1
1.1	Les services RTC	1
1.1.1	Services aux entreprises	1
1.1.2	Services aux particuliers	2
1.1.3	Services nouveaux ou attendus	3
1.2	Architecture du réseau téléphonique	3
1.3	La commutation	6
1.3.1	La commutation spatiale	6
1.3.2	La commutation temporelle	7
1.3.3	Le commutateur numérique étendu temporel/spatial: AXE 10	8
2	Chapitre 2. Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs	13
2.1	Réseaux d'accès/ de transport	13
2.1.1	La Technologie ADSL	13
2.1.2	Les accès DSL	18
2.2	Rôle des opérateurs et le découpage	19
2.3	Architectures	19
3	Chapitre 3. Transport des données PDH et SDH	21
3.1	La numérisation du signal téléphonique	21
3.2	Multiplexage	23
3.3	Hiérarchie numérique	25
3.3.1	Hiérarchie numérique plésiochrone	25
3.3.2	Trame secondaire PDH selon la recommandation G744	26
3.3.3	Trame Secondaire des MICs TN2 selon G742	27
3.3.4	Structure des trames d'ordres supérieurs	27
3.3.5	Hiérarchie numérique synchrone	28
3.3.6	La trame SDH	29
3.3.7	IP sur SDH	33
4	Chapitre 4. Réseau de transport optique	35
4.1	Evolution de l'infrastructure transport	35
4.1.1	Les trois grandes étapes	35
4.1.2	Facteurs d'évolution vers les réseaux optiques	36
4.2	Technologies WDM et DWDM	37
4.2.1	Technologie WDM	37
4.2.2	Eléments d'un réseau WDM	38
4.2.3	Technologie DWDM	39
4.3	Applications	41
4.3.1	Réseaux longue distance LHN (Long-Haul Networks)	41
4.3.2	Réseaux métropolitains MIN (Metro Interoffice Networks)	41
4.3.3	Exemple d'architecture	42
5	Chapitre 5. Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia	44
5.1	Le concept cellulaire	44
5.2	Architecture GSM	45

Table des Matières

5.2.1	Le sous système radio BSS	46
5.2.2	Le sous système réseau NSS	47
5.2.3	Le sous système d'exploitation OMC	48
5.3	Architecture GPRS	48
5.4	Le système UMTS	51
5.4.1	Architecture de l'UMTS	51
5.4.2	Les canaux	53
5.4.3	L'évolution de l'UMTS 3.5G	55
5.4.4	L'évolution de l'HSPA	56
5.4.5	L'évolution de l'HSPA+	56
5.5	La norme LTE	57
5.5.1	Architecture de réseau LTE/EPS	57
5.5.2	Les technologies de téléphonie mobile utilisées en Europe	58
5.6	Les supports et les protocoles	59
5.6.1	Opération support system OSS	59
5.6.2	Business support system BSS	59
5.6.3	L'Hyper text transfer protocol HTTP	59
5.6.4	Le protocol WAP	60
5.6.5	Session initiation protocol SIP	60
5.6.6	Multimedia subsystem	60
6	Annexes	61
7	Bibliographie	64

Glossaire

ADM	Add Drop Multiplexer
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phone Service
AMRF	Accès Multiple à Répartition en Fréquence
AMRT	Accès Multiple à Répartition dans le Temps
AMT	Alignement de Multi- Trames
ARIB	Association of Radio Industries and Business
ARPT	Autorité Régulation de la Poste et des Télécommunications
AUC	Authentication Center
AU	Administrative unit
AUG	Administrative Unit Group
AT	Alignement de Trame
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BAS	Broadband Access Server
BCCH	Broadcast Control CHannel
BCH	Broadcast CHannel
BLR	Boucle Local Radio
BTS	Base Transceiver Station
BRAS/EAS	Broadband Remote Access Server/Équipement d'Accès au Service
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BSS	Business Support System
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAA	Commutateurs à Autonomie d'Acheminement
CCIF	Comité Consultatif International des Liaisons Téléphoniques à Grandes Distances
CCITT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique
CC	Call Control
CCCH	Common Control CHannel
CDMA	Code Division Multiple Access
CFU	Call Forwarding Unconditional
CNET	Centre National d'Etude des Télécommunications
CTCH	Common Traffic CHannel
CTP	Commutateurs de Transit Principaux
CTS	Commutateurs de Transit Secondaire
CTI	Commutateurs de Transit Internationaux
CL	Commutateurs Locaux
CLIP	Calling Line Identification Presentation
CLIR	Calling Line Identification Restriction
CSC	Control Store C
CSAB	Control Store A and B
CPC	Continuous Packet Connectivity
CoMP	Coordinated Multi-Point
DCCH	Dedicated Control Channel
DCH	Dedicated CHannel
DCS	Digital Communication System
DCHSDPA	Dual Carrier – HSDPA

Glossaire

DECT	Digital European Cordless Telephone
DRM	Direction des Radiocommunications Mobiles
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
DSCH	Downlink Shared CHannel
DTCH	Dedicated Trafic CHannel
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
DXC	Digital Cross Connect
E1	Multiplex Européen d'ordre 1
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ETTD	Équipement Terminal de Traitement des Données
ETCD	Équipement de Terminaison du Circuit de Données
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
EIR	Equipment Identity Register
EPDG	Evolved Packet Data Gateway
EPS	Evolved Packet System
FACH	Forward Access CHannel
FAI	Fournisseur d'Accès Internet
FDM	Frequency Division Multiplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FDD	Frequency Division Duplexing
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
FM	Frequency Modulation
FIU	L'unité d'interface de la fibre
FTP/ ScTP	Foiled/Screened TP
GFSK	Gaussian frequency shift keying
GMSC	Gateway Mobile Switching Centre
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	Global System for Mobile Communications
GPRS	General Packet Radio Service
HARQ	Hybrid Automatic Response reQuest
HDSL	High bit-rate DSL
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSPA	High Speed Packet Access
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HPSK	Hybrid Phase Shift Keying
HO	High Order
HO-VC	High Order- VC
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HTML	HyperText Markup Language
IASA	Inter Access System Anchor
IETF	Internet Engineering Task Force
IMEI	Internationnal Mobile Equipment Identity
IMS	IP Multimedia Subsystem
IMT 2000	International Mobile Telecommunications 2000
IP	Internet Protocol

Glossaire

IP MSAN	Internet Protocol Multiservice Access Node
IP/MPLS	Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching
IT	Intervalle de Temps
LAPD	Link Access Protocol D-channel
LED	Light Emitting Diode
LO-VC	Low-Order VC
LTE	Long Term Evolution
MM	Mobility Management
MME	Mobility Management Entity
MIC	Modulation par Impulsion et Codage
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MRT	Multiplexage à Répartition dans le Temps
MSC	Mobile Services Switching Center
MSK	Minimum-shift keying
MS	Mobile Station
MUP	Multiple Points
NADC	North American Digital Cellular
NMC	Network Management Center
NMT	Nordic Mobile Telephone
NSS	Network Subsystem
NRA	Noeud de Raccordement d'Abonné
NRZ	No Return to Zero
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC	Operation and maintenance Center Radio
OSI	Open Systems Interconnection
PABX	Private Automatic Branch eXchange
PAS	Plate-forme d'Accès aux Services
PC	Points de Concentration
PCCH	Paging Control CHannel
PCH	Paging CHannel
PC	Personal Computer
PDC	Personal Digital Cellular
PDH	Plésiochrone Digital Hiérarchy
PDN GW	Packet Data Network Gateway
PHS	Personal Handy Phone System
POH	Path Over Head
PSTN	Public Switched telephone Network
PSK	Phase Shift Keying
PTT	Les Postes, Télégraphes et Téléphones
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RACH	Random Access CHannel
RAN	Radio Access Network
REG	Régénérateurs Electriques
RNIS	Réseau Numérique à Intégration de Services
RTC	Réseau Téléphonique Commuté
RP	Répartiteur Principal
RZ	Return to Zero

Glossaire

RNC	Radio Network Controller
OA	Amplificateur optique
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer
OC	Optical Carrier
OD	Démultiplexeur optique
OM	Multiplexeur optique
OLA	Optical Line Amplifier
OSC	Unité de canal de supervision optique
OSS	Operational Support System
OTU	Unité de transpondeur optique
OTM	Optical Terminal Multiplexer
SSA	Speech Store A
SSB	Speech Store B
SAE	System Architecture Evolution
SC-FDMA	Single Carrier -Frequency Division Multiple Access
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDSL	Symmetric DSL
Serving GW	Serving Gateway
SHDSL	Symmetric High bit-rate DSL
SOH	Section Over Head
SON	Self Organizing Network
SLIC	Subscriber Line Interface Circuit
SMS	Short Message Service
SMTP	Simple Mail Transport Protocol
SISO	Single Input Single Output
SIP	Session Initiation protocol
SS	Supplementary Services
STM	Mode de Transfert Synchrone de niveau
STP	Shielded Twisted Pair
SPM	SPace switch Module
SR	Sous Répartiteur
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
TDD	Time Division Duplexing
TDM	Time-division multiplexing
TD-CDMA	Time Division-CDMA
TD-SCDMA	Time Division Synchronous CDMA
TM	Terminal Multiplexer
TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group
TRAU	Transcoding Rate and Adaptation Unit
TSM	Time Switch Module
TST	Time Space Time
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Sytsem
UE	User Equipment
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
UTI	Union Télégraphique Internationale
UTP	Unshielded Twisted Pair

Glossaire

UIT	Union Internationale de Télécommunication
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Acces Network
UPE	User Plane Entity
UWC-136	Universal Wireless Communications-136
VC	Virtual Container
VDSL	Very high bit-rate DSL
VT	Voies Téléphoniques
VLR	Visitor Location Register
WAP	Wireless Application Protocol
WDM	Wavelength Division Multiplexing
W-CDMA	Wideband-CDMA
WLAN	Wireless Local Area Network
WLL	Wireless Local Loop
WIFI	Wireless Fidelity
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
ZAA	Zone à Autonomie d'Acheminement
ZL	ZONE Locale
ZT	Zones de Transit
ZTS	Zones Transit Secondaire
ZTI	Zone de Transit Internationale
3 GPP	Third Generation Group Project Partnerchip

Liste des Figures

Figure 1.1	Autocommutateur téléphonique privé PABX	1
Figure 1.2	Trame MIC	1
Figure 1.3	Un tronçon de RTC	5
Figure 1.4	Ancien commutateur	6
Figure 1.5	Commutation spatiale	7
Figure 1.6	Commutation temporelle	7
Figure 1.7	Structure d'un module temporel (TSM)	8
Figure 1.8	Mémoire de commande CSC	9
Figure 1.9	Commande d'un module SPM	9
Figure 1.10	Constitution d'un module TSM	10
Figure 1.11	Réseau de connexion TST	11
Figure 2.1	Les bandes passantes utilisées par l'ADSL	13
Figure 2.2	Le parcours vers le monde de l'Internet	14
Figure 2.3	Le point de concentration et le répartiteur principal	14
Figure 2.4	Armoire de sous-répartition	15
Figure 2.5	Le répartiteur	15
Figure 2.6	Le Filtre ADSL au DSLAM	15
Figure 2.7	Le DSLAM et Le Brasseur ATM	16
Figure 2.8	La chaîne globale d'une liaison ADSL	17
Figure 2.9	Le parcours en optique	17
Figure 2.10	Le EAS /BAS	18
Figure 2.11	Routeur IP vers l'Internet	18
Figure 2.12	Le dégroupage	19
Figure 2.13	Dégroupage : partiel et total	20
Figure 3.1	Signal continu et signal numérique	21
Figure 3.2	Echantillonnage	22
Figure 3.3	Repliement de spectre	22
Figure 3.4	Quantification	22
Figure 3.5	Exemple de multiplexage temporel	23
Figure 3.6	Multiplexage numérique temporel	24
Figure 3.7	Structure des trames des MIC primaire du système européen	25
Figure 3.8	Hiérarchie PDH	26
Figure 3.9	Structure d'une trame secondaire (G744)	27
Figure 3.10	Structure d'une trame secondaire (G742)	27
Figure 3.11	Structure de multiplexage SDH	28
Figure 3.12	Conteneur virtuel	30
Figure 3.13	L'unité d'affluent	31
Figure 3.14	Groupe d'unité d'affluent	31
Figure 3.15	Unité administrative	32
Figure 3.16	Structure de la SDH	32
Figure 3.17	Vue générale d'un réseau de transport SDH	33
Figure 4.1	Couches réseaux, modèle actuel	35
Figure 4.2	Combinaison entre les différentes couches services et transports	36
Figure 4.3	La technologie DWDM	36
Figure 4.4	Modèle d'une liaison WDM	37
Figure 4.5	Peigne des fréquences en DWDM	39
Figure 4.6	Multiplexage en DWDM	40
Figure 4.7	Décomposition en couleurs	40

Liste des Figures

Figure 4.8	Architecture d'un réseau optique longue distance	41
Figure 4.9	Architecture d'un réseau métropolitain en anneau	42
Figure 4.10	Réseau ATM et Giga Ethernet sur un anneau Sonet-SDH	43
Figure 4.11	Réseau ATM et Giga Ethernet sur un anneau DWDM	43
Figure 5.1	Le principe des cellules	44
Figure 5.2	Les différents types de handover	45
Figure 5.3	Architecture du réseau GSM	46
Figure 5.4	Entités et Interfaces du réseau GSM	50
Figure 5.5	L'architecture de l'UMTS	52
Figure 5.6	Les différentes cellules pour la norme UMTS	52
Figure 5.7	Le réseau cœur de l'UMTS	53
Figure 5.8	Les canaux	54
Figure 5.9	Les Releases du 3GPP	55
Figure 5.10	Architecture de l'EPS	57
Figure A.1	Les modulations numériques	61
Figure A.2	Les systèmes d'accès	61
Figure A.3	Duplexages FDD et TDD	61
Figure A.4	Modes FDD, TDD	62
Figure A.5	Les systèmes TDMA- FDD, TDMA-TDD	62
Figure A.6	Les systèmes FDMA- FDD, FDMA-TDD	62
Figure A.7	Les systèmes CDMA- FDD, CDMA-TDD	63
Figure A.8	L'étalement de spectre	63

Liste des Tableaux

Tableau 1.1	Catégories de commutateurs dans l'architecture RTC	4
Tableau 3.1	Niveaux Hiérarchiques PDH pour l'Europe	26
Tableau 3.2	Récapitulatif des différents débits versus le conteneur	29
Tableau 4.1	Désignations et bandes passantes SONET et SDH	42
Tableau 5.1	Caractéristiques de différents standards	55
Tableau 5.2	Comparaison des technologies des Releases du 3 GPP	56
Tableau 5.3	Les normes principales de téléphonie mobile utilisées en Europe	58

Rappels sur la Téléphonie 'classique'

1.1 Les services RTC (Réseau Téléphonique Commuté)

Les services RTC sont [1,2]:

1.1.1 Services aux entreprises

Un autocommutateur téléphonique privé PABX (Private Automatic Branch eXchange) sert à raccorder les postes téléphoniques (les lignes internes) d'une entreprise avec le réseau RTC comme indiqué la Figure 1.1. Cet autocommutateur permet de réaliser une interconnexion au réseau public des postes internes et un certain nombre de services, notamment:

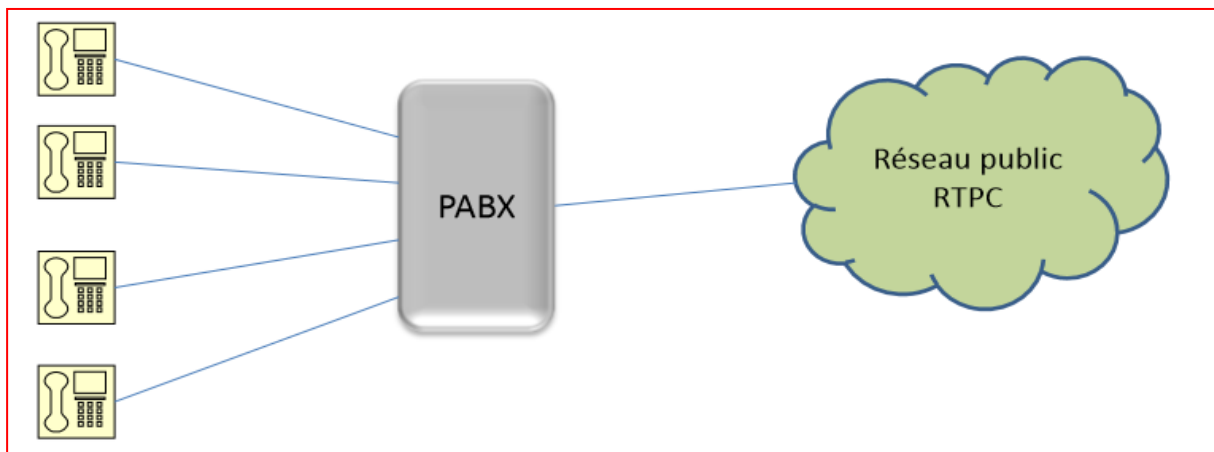


Figure 1.1 Autocommutateur téléphonique privé PABX [1]

▪ Groupement de ligne

-**Analogique**: plusieurs lignes sous le même numéro d'appel et la possibilité de lignes spécialisés.

-**Liaison MIC** (Modulation par Impulsion et Codage): ligne de transmission numérique à 2 Mbits/s composée de 32 voies paroles à 64 Kbits/s multiplexées temporellement [3]. La Figure suivante représente la trame MIC.

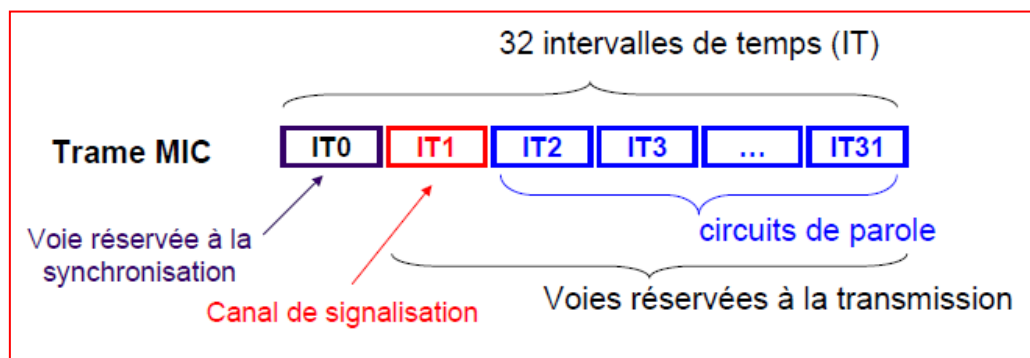


Figure 1.2 Trame MIC [3]

Avec :

La synchronisation: rattraper toutes les glissements de fréquences.

La signalisation: est l'ensemble des dialogues entre les fonctions de contrôle des divers usagers et commutateurs impliqués dans un appel [4].

- **RNIS** (Réseau Numérique à Intégration de Services): est un réseau de télécommunications constitué de liaisons numériques (une communication numérique de bout en bout) permettant une meilleure qualité et des vitesses pouvant atteindre 2 Mbit/s.

Ce réseau donne accès à plusieurs canaux numériques: les canaux de type B (64 kbit/s) servent au transport de données et les canaux de type D (16 kbit/s) servent à la signalisation des communications [5].

L'accès primaire: c'est une interface d'accès à un réseau RNIS, il comprend 15, 20, 25 ou 30 canaux B.

▪ **S.D.A. (Sélection Directe à l'Arrivée)**

Chaque ligne interne de l'entreprise peut recevoir un numéro direct, la durée de commutation est assurée par le PABX.

▪ **Numéros Spéciaux** [6]

- Un numéro gratuit aux appelants en composant un numéro commençant par 800*....
- Un numéro de téléphone commercialement intéressant, facile à retenir (exemple: N°=PQPQPQ, PQ XXXX,.....).
- Un numéro avec une numérotation courte.

▪ **Appel en conférence** (Réunion téléphone)

Permet la mise en communication de plusieurs interlocuteurs (les postes internes) au même temps [1,6].

▪ **Tarification** Réductions pour les communications nationales, locales et internationales. Pour les grands comptes (entreprises), les réductions peuvent atteindre 50%...

1.1.2 Services aux particuliers [6]

- **Appel en attente:** permet à l'abonné, au cours d'une communication d'être informé par un signal sonore qu'un autre abonné essaie de l'appeler.
- **Appel sans numérotation:** dès le décrochage du combiné, on utilise un numéro programmé, et sans composer le numéro. Ce service est adapté aux : enfants, handicapés visuels et personnes âgées.
- **Service du réveil:** permet à l'abonné de programmer lui-même sur son poste un ou plusieurs appels du réveil.
- **Conférence à trois:** permet de mettre en connexion trois (3) abonnés à la fois.
- **Renvoi temporaire:** permet à l'abonné de transférer temporairement ses appels vers un autre numéro de son choix se trouvant dans la même circonscription.

- **Numérotation abrégée:** permet de remplacer les numéros de téléphone fréquemment demandés jusqu'à 10 par des numéros à 1 chiffre. Gagnez du temps en composant un chiffre au lieu de 0+8 en numérotation nationale.
- **Affichage du numéro d'appel:** permet d'afficher le numéro téléphonique de votre correspondant au moment où vous recevez son appel.
- **Verrouillage de l'accès à l'international:** permet à l'abonné de bloquer ou libérer l'accès international "00" à partir de son poste.
- **Facturation détaillée:** permet à l'abonné d'obtenir à la fin de chaque période de facturation, la liste des communications établies à partir de son poste pendant la même période.

1.1.3 Services nouveaux ou attendus [2]

- **Identification de l'appelant.**
- **Masquage temporaire de l'identification de l'appelant.**
- **Identification du dernier appel.**
- **Rappel du dernier appelant.**
- **Rappel automatique sur poste occupé.**
- **Le refus d'appel.**
- **Personnalisation de la sonnerie:** sonnerie différente pour plusieurs membres d'une même famille: un n° d'appel par membre.
- **Identification d'appel prioritaire:** sonnerie différente pour certains appelants.
- **Le renvoi sélectif:** selon l'appelant.
- **La programmation à distance des renvois:** selon l'heure...
- **Messagerie.**

1.2 Architecture du réseau téléphonique

Un commutateur téléphonique met en communication deux abonnés suivant des règles fondées sur le numéro composé par l'appelant. Le choix d'un canal sur un équipement périphérique destinataire d'un appel s'appelle la sélection. Durant la commutation plusieurs commutateurs peuvent se lier entre l'appelant et le destinataire. Les intervalles de temps utilisés sont occupés tout au long de la communication entre les deux abonnés [7].

Deux types de commutateurs sont:

- Les commutateurs publics.
- Les commutateurs privés PABX: pour les entreprises clientes des opérateurs de télécommunications.

Les catégories de commutateurs dans l'architecture RTC sont classées en [1,8]:

Commutateurs d'abonnés (les lignes d'abonnés sont directement rattachées)	COMMUTATEURS LOCAUX CL: (Zone Local) CLASSE 4 Sont de simples concentrateurs de lignes raccordant les abonnés. COMMUTATEURS A AUTONOMIE D'ACHEMINEMENT CAA: (Zone Urbain) CLASSE 3 Desservent les CL
Commutateurs de transit	COMMUTATEURS DE TRANSIT SECONDAIRE CTS:(Zone Régional) CLASSE 2 Au dessus des CAA. Il assure le transit du trafic de tous les CAA qui lui sont rattachés. COMMUTATEURS DE TRANSIT PRINCIPAUX CTP: (Zone National) CLASSE 1 Le CTP est au sommet de la hiérarchie nationale. Tous les CTP sont reliés 2 à 2 entre eux. COMMUTATEURS DE TRANSIT INTERNATIONAUX CTI: Il assure le transit du trafic international.

Tableau 1.1 Catégories de commutateurs dans l'architecture RTC [8]

La Figure 1.3 donne une structure simplifiée d'un tronçon du RTC.

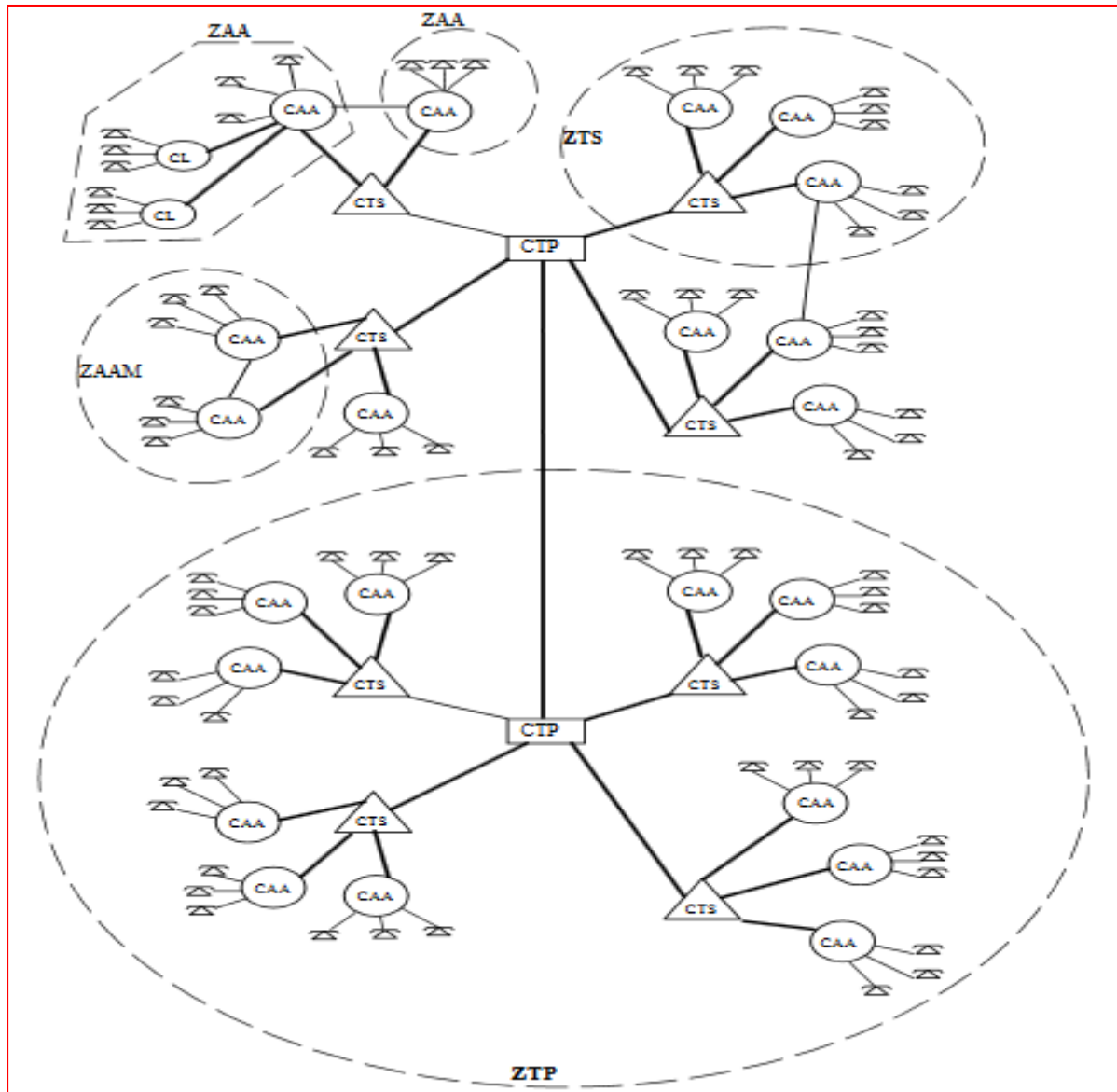


Figure 1.3 Un tronçon de RTC [9]

Le réseau RTC est découpé en trois niveaux [1, 10, 11]:

I. ZONE Locale (ZL)

Dans cette zone locale, les abonnés sont raccordés à un étage d'abonné (local ou distant). Les étages d'abonnés établissent les connexions entre les lignes d'abonnés et leur commutateur CCA de rattachement.

II. Zone à Autonomie d'Acheminement (ZAA)

Cette zone est constituée par des zones locales ZL, équipé par un ou plusieurs CCA. Ils gèrent l'acheminement du trafic entre ZL et entre CCA. La ZAA est un réseau étoilé, elle constitue le réseau de desserte.

III. Zones de Transit (ZT)

Dans cette zone il y a deux types, national ou international.

- **Zones Transit Secondaire (ZTS)**

Est un réseau partiellement maillé et elle est délimitée par le CTS qui gère les CCA situés dans la zone. Les CTS assurent uniquement le brassage des circuits, lorsqu'un CCA ne peut pas accéder le CCA du destinataire.

- **Zone de Transit Principale (ZTP)**

Est un réseau partiellement maillé et elle regroupe des ZTS et inclut un CTP qui gère les CTS. Cette zone garantis la commutation de longue distance. L'un des commutateurs de transit principal (CTP) est relié au commutateur international de transit.

- **Zone de Transit Internationale (ZTI)**

Les CTP sont rattachés à un CTI permettant de traiter le trafic de l'international.

1.3 La commutation

Le terme provient de la disposition physique en croix sur deux nappes des liaisons entrantes et sortantes: la jonction opérée, typiquement par une fiche d'opérateur à l'époque manuelle, puis de manière automatique dans les années 70, permet d'établir ainsi physiquement la liaison entre toutes les lignes présentes (voir Figure 1.4). La croissance quadratique du nombre de points de connexion en fonction du nombre de lignes limite le potentiel de développement de cette technique [1].



Figure 1.4 Ancien commutateur [1]

Le rôle d'un commutateur numérique est de commuter les IT (Intervalle de Temps) d'un multiplex entrant vers ceux d'un multiplex sortant. Chaque IT représente un canal à 64 kb/s correspondant à une communication téléphonique [9].

On distingue deux types de commutation numérique, la commutation spatiale et la commutation temporelle.

1.3.1 La commutation spatiale

Ce type de commutateur est dit spatial car il fonctionne comme une matrice de commutation analogique, seulement la configuration de connexion change après chaque IT. Une IT d'un multiplex entrant peut être aiguillée vers n'importe multiplex sortant mais elle garde la même position dans la trame de sortie comme indiqué la figure suivante [9].

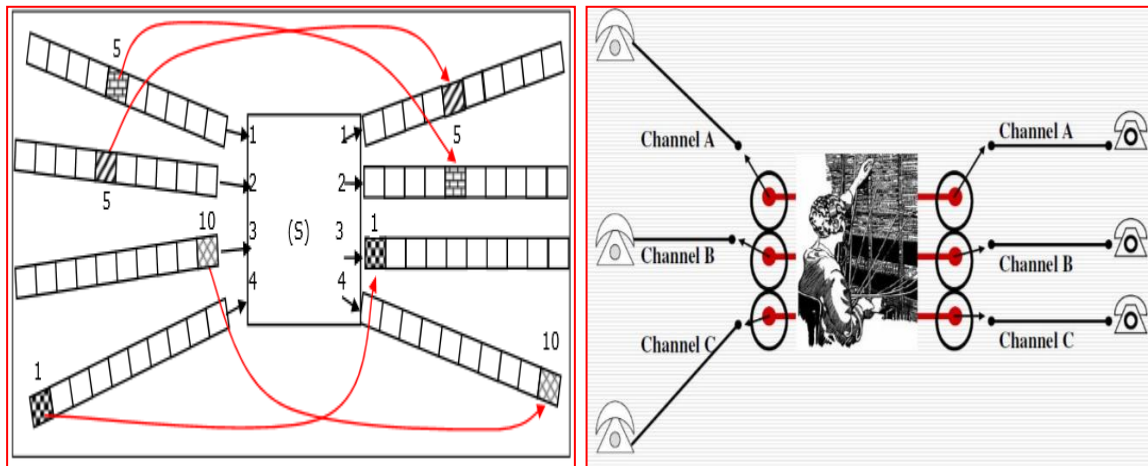


Figure 1.5 Commutation spatiale [1, 9]

1.3.2 La commutation temporelle

Contrairement au commutateur spatial dans lequel chaque IT conserve sa propre position temporelle au sein de la trame, le commutateur temporel est capable de modifier la position temporelle des ITs entre les multiplex entrants et les multiplex sortants [9].

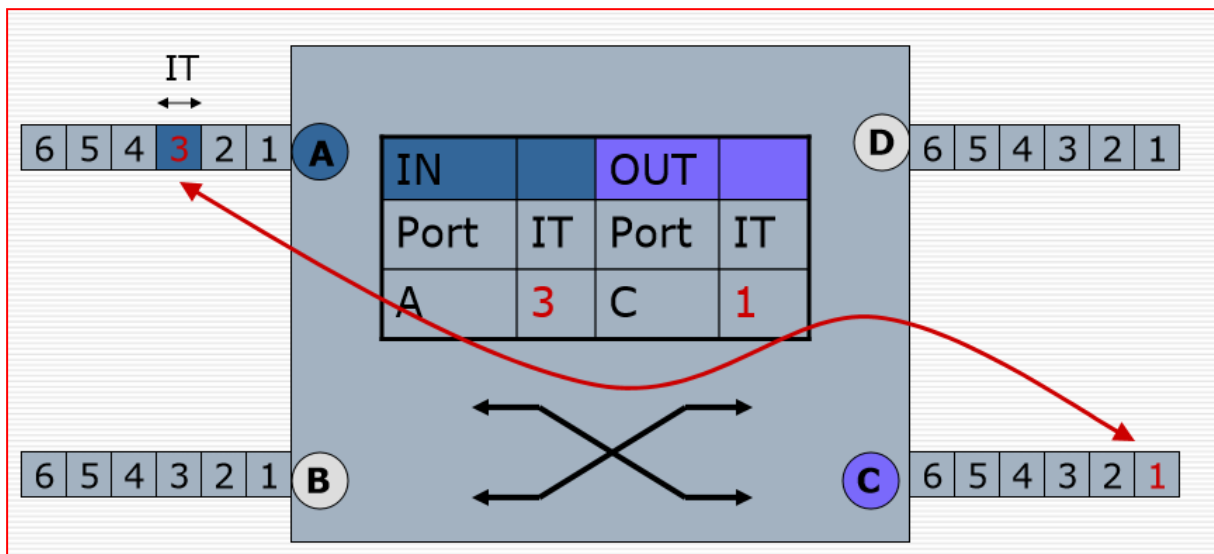


Figure 1.6 Commutation temporelle [1]

1.3.3 Le commutateur numérique étendu temporel/spatial: AXE 10

Pour assurer une flexibilité maximale dans la commutation du centre téléphonique AXE 10, le système de la sélection de groupe est structuré en modules appelés TSM (Time Switch Module) et SPM (SPace switch Module) ce qui permet de dimensionner le réseau de connexion en fonction de l'importance du central.

Chaque TSM possède 512 voies d'entrée et 512 voies de sortie appelés MUP (Multiple Points) et correspondant à 16 liaisons MIC à 2,048 Mbits/s. Il n'y a donc pas de concentration ni d'expansion du point de vue écoulement du trafic.

Les échantillons qui arrivent sur les voies d'entrée sont mémorisés dans la mémoire SSA (Speech Store A) avec 512 positions (Voir Figure 1.7) [12,13].

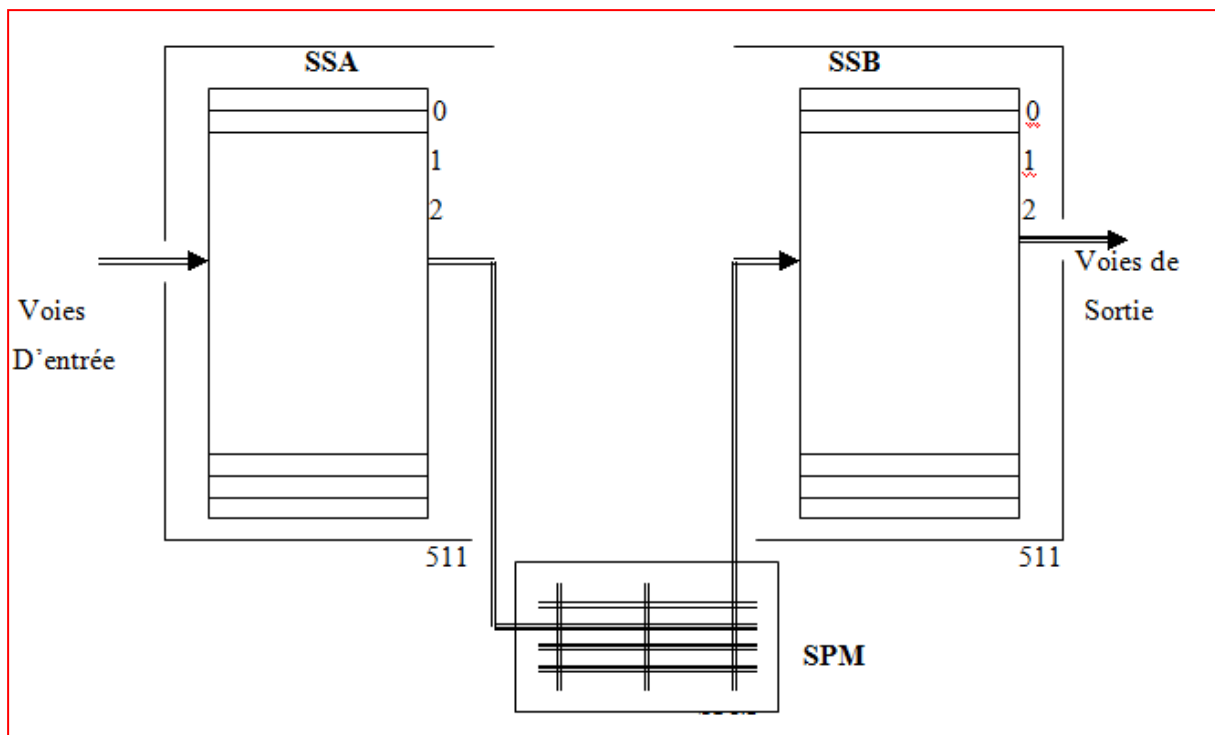


Figure 1.7 Structure d'un module temporel (TSM) [12]

- **Commande des commutateurs SPM (SPace switch Module)**

Les commutateurs SPM sont constitués de matrice de commutation ou les points de croisement entre les horizontales connectées au mémoire SSA et les verticales connectées au mémoire SSB (Speech Store B) sont commandés par une mémoire de commande CSC (Control Store C) [12,13].

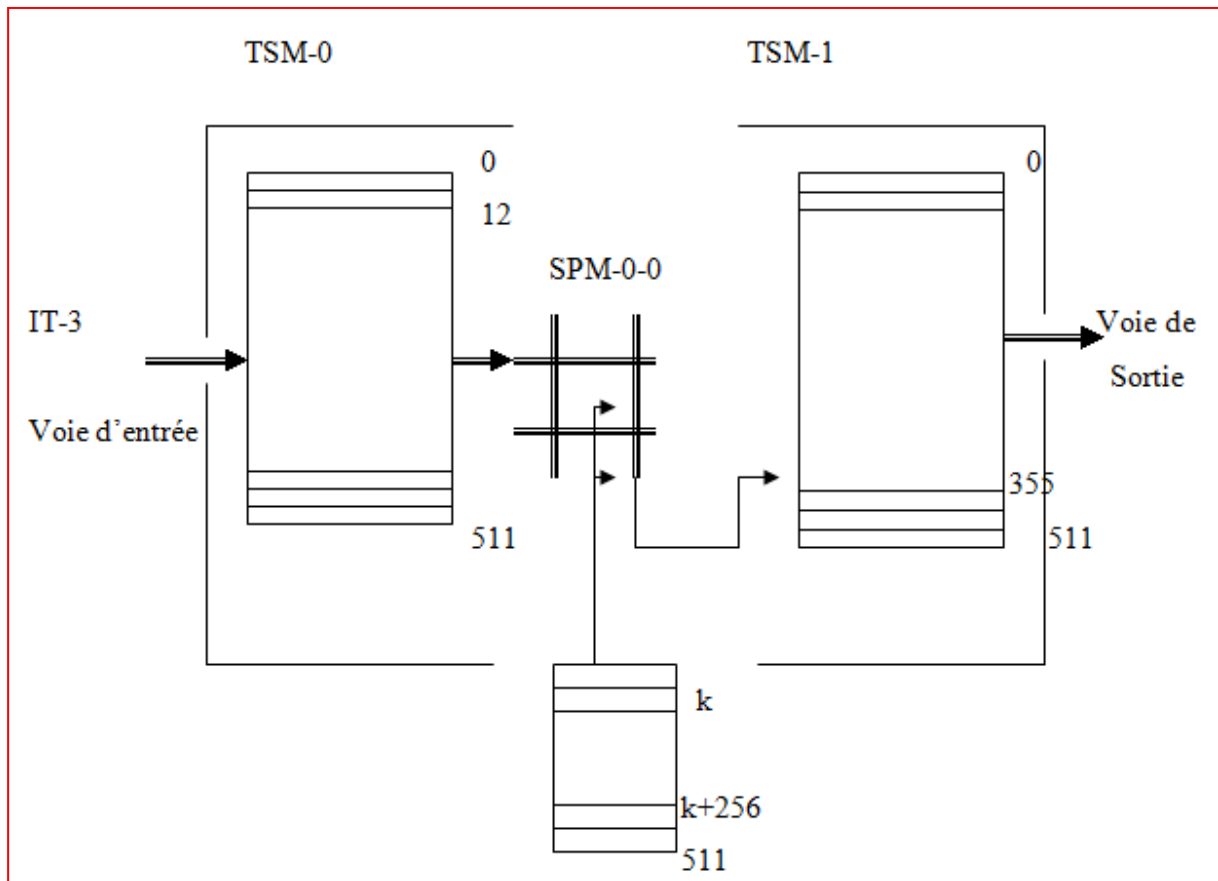


Figure 1.8 Mémoire de commande CSC [12]

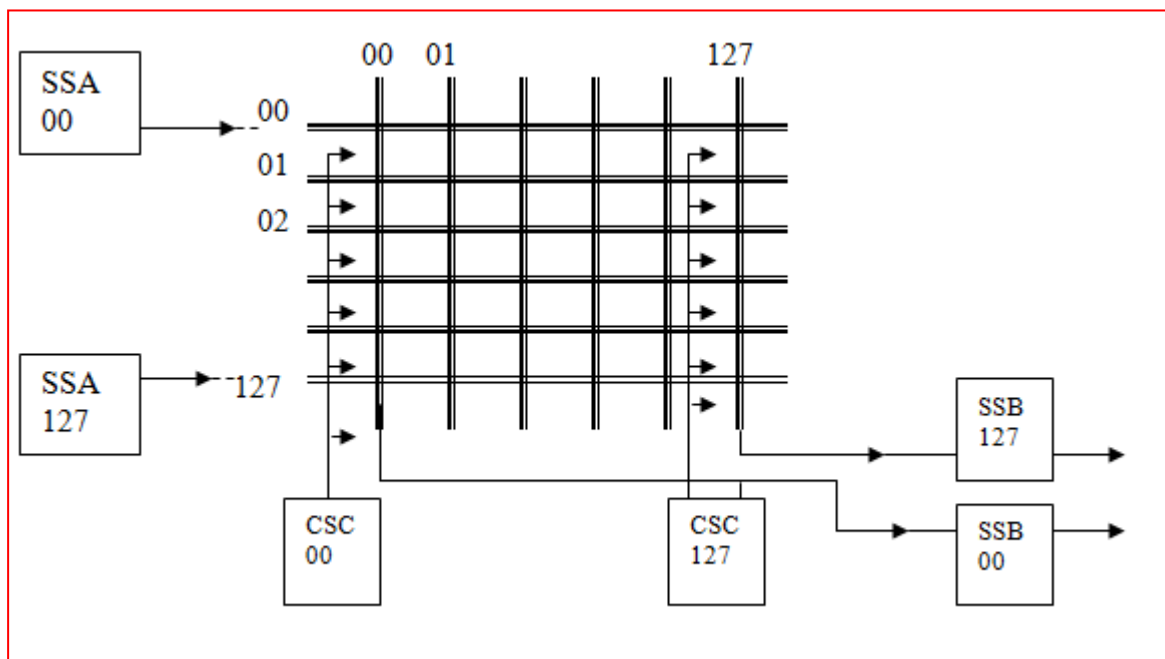


Figure 1.9 Commande d'un module SPM [12]

A chaque verticale est associée une mémoire de commande CSC qui indique à chaque intervalle de temps interne la connexion qu'il faut réaliser, le contenu de CSC indique le numéro de l'horizontale avec laquelle il faut réaliser la connexion.

Géographiquement la mémoire CSC est située dans le module TSM correspondant (ayant le même numéro). Lorsqu'un point de croisement est réalisé entre une horizontale et une verticale, les dix bits du bus sont prolongés et la connexion entre la mémoire SSA et SSB est réalisée [12,13].

▪ Commande des Commutateurs TSM (Time Switch Module)

La commande des mémoires SSA et SSB est réalisée par une seule mémoire de commande dite CSAB (control store A and B). Il y a une symétrie entre les deux sens de transmission ou transfert d'échantillons entre SSA et SSB (une communication bidirectionnelle). La constitution du module TSM est illustrée par la Figure 1.10.

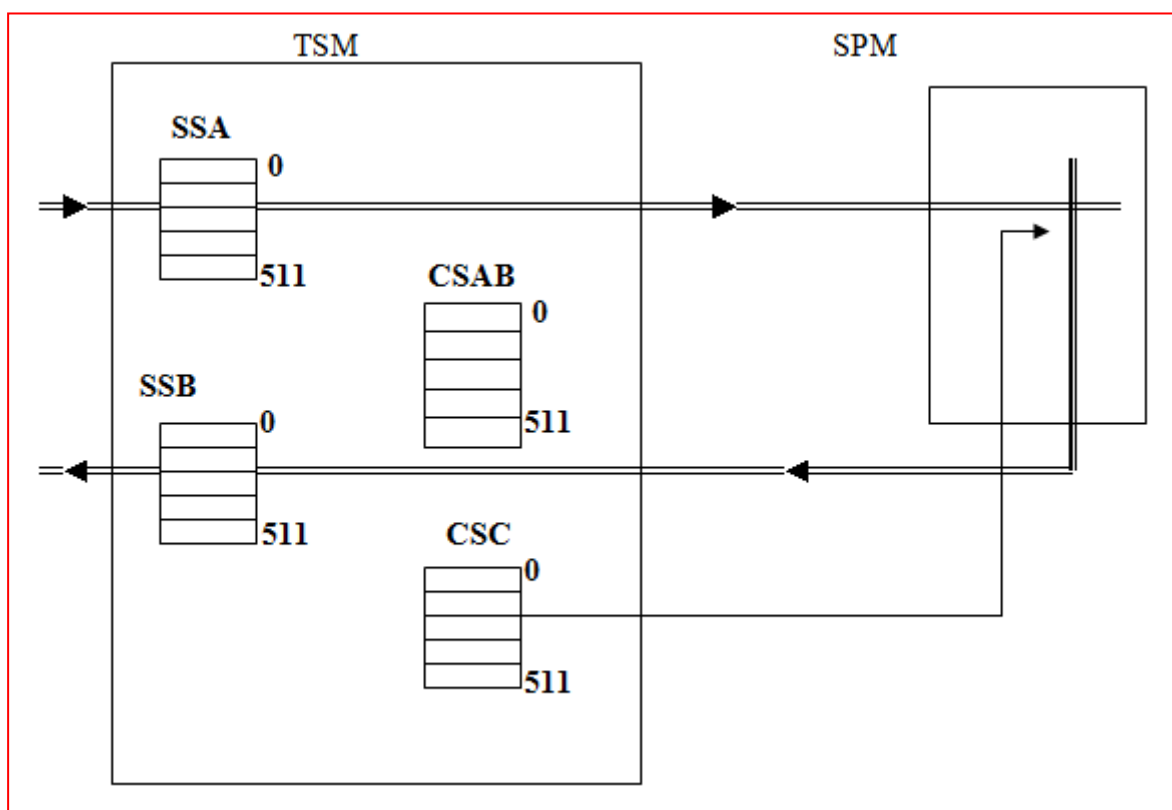


Figure 1.10 Constitution d'un module TSM [12]

▪ Exemple de connexion

Supposant on va connecter le MUP-12 du TSM-0 avec le MUP-355 du TSM-1 via l'intervalle de temps interne IT-23 (Voir Figure 1.11) [13].

A l'intervalle de temps 23 correspond l'intervalle en sens inverse $23+256=279$.

1. Dans CSAB -0, à l'adresse 23 on inscrit 12
2. Dans CSAB -1, à l'adresse 279 on inscrit 355
3. Dans CSC -1, à l'adresse 23 on inscrit 0
4. Dans CSC -0, à l'adresse 279 on inscrit 1

Les transferts d'échantillons se font à l'instant 23 et l'instant 279 pour cette communication particulière.

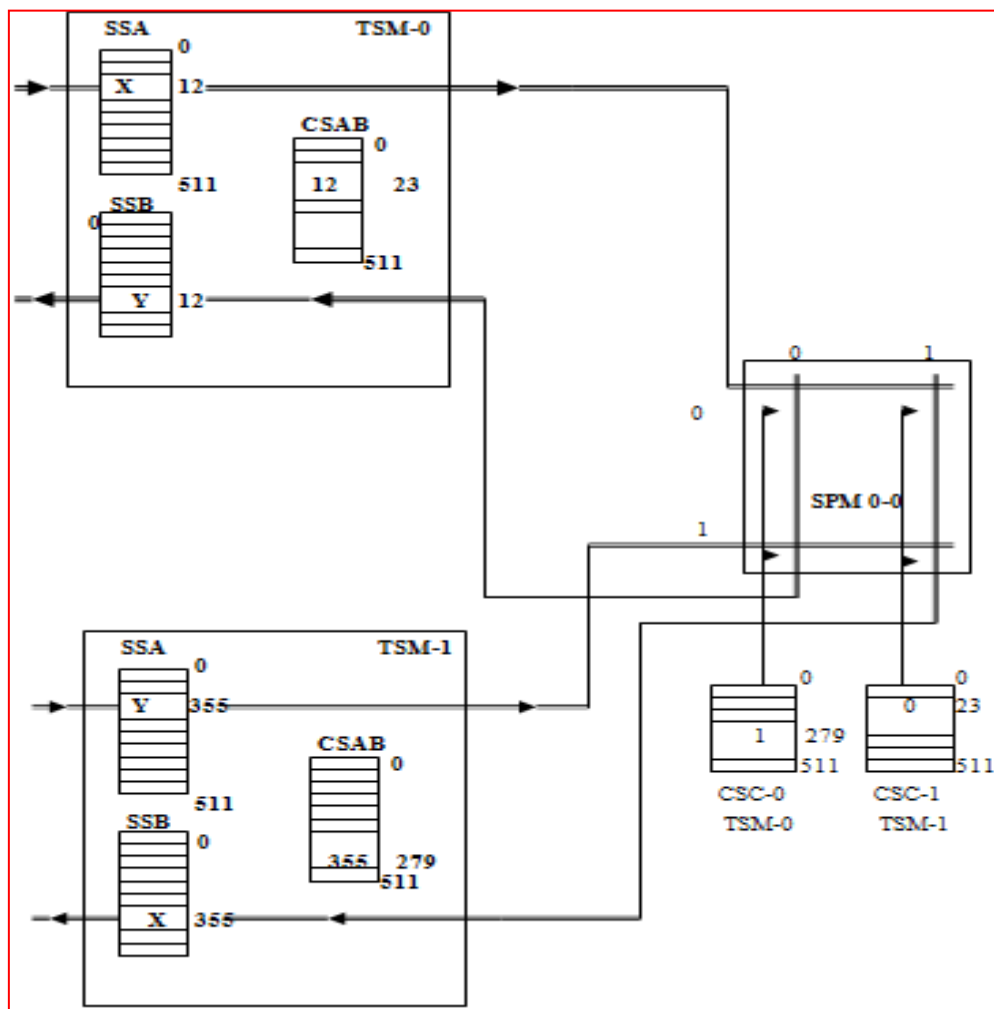


Figure 1.11 Réseau de connexion TST [12]

Le fonctionnement d'un TSM peut être résumé comme suit [12,13] :

A chaque intervalle de temps k on réalise les opérations suivantes:

- Mémorisation de l'échantillon qui arrive de la liaison MIC dans la mémoire SSA à l'adresse indiquée par un compteur (lecture cyclique).
- Connexion dans SPM entre la verticale du TSM et une horizontale dont le numéro est donnée par la mémoire CSC à l'adresse k .
- Lecture de l'échantillon de parole dans SSA à l'adresse donnée par CSAB à l'adresse k : SSA [CSAB [$k+256$]].
- Ecriture de l'échantillon qui arrive de SPM dans la mémoire SSB à l'adresse donnée par CSAB à l'adresse $(k+256)$ modulo 512 : SSB [CSAB [$k+256$]]
- Lecture de l'échantillon de la mémoire SSB à l'adresse indiquée par un compteur et sortie sur liaison MIC externe.

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

2.1 Réseaux d'accès/ de transport

2.1.1 La Technologie ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line: Réseau de Raccordement numérique Asymétrique), est une technologie permettant de faire passer de hauts débits sur la paire de cuivre utilisée pour les lignes téléphoniques de la Boucle Locale (parties Transport, Distribution et branchement). La technique consiste à utiliser les fréquences supra vocales laissées libres par le service téléphonique traditionnel. L'opérateur de télécoms proposant le service ADSL installe du matériel dans ses répartiteurs DSLAM (digital subscriber line access multiplexer : multiplexeur d'accès à la ligne d'abonné numérique) et un modem chez l'abonné. Les débits constatés sont de 10 à 25 fois plus élevés qu'un modem 56K classique [14].

La Figure suivante illustre les bandes passantes utilisées par l'ADSL [1].

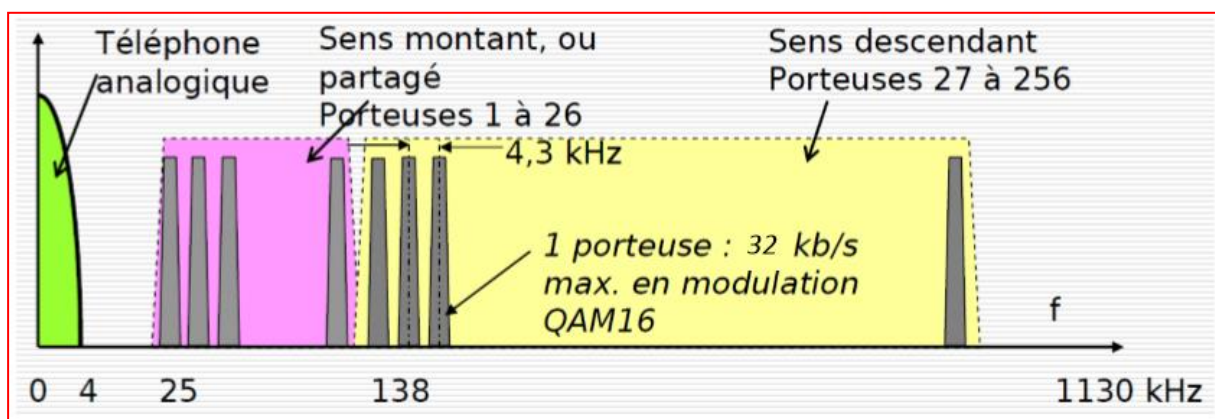


Figure 2.1 Les bandes passantes utilisées par l'ADSL [1]

Comme indiqué la Figure 2.1 les bandes utilisées sont [14]:

En conservant le canal téléphonique classique sur la même ligne (sur la paire déjà installé).

- RTC : 300 – 3100 Hz.
- ADSL Voie montante: 25 – 140 KHz.
- ADSL Voie descendante: 140 KHz – 1,1 MHz.

La modulation utilisée: DMT (Discrete MultiTone) et les Multiporteuses: modulation de chaque porteuse adaptée à l'état de la ligne [1].

Asymétrique: débit descendant (un central vers un utilisateur) plus élevé que le débit montant (l'utilisateur vers le central), les informations envoyées par l'utilisateur sont plus sensibles aux bruits causés par des perturbations électromagnétiques car plus on se rapproche du central, plus la concentration de câble augmente et donc ces derniers génèrent plus de diaphonie. L'idée est donc d'utiliser un système asymétrique, en imposant un débit plus faible de l'abonné vers le central [1, 14].

La Figure suivante représente le parcours de l'abonné vers l'internet.

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

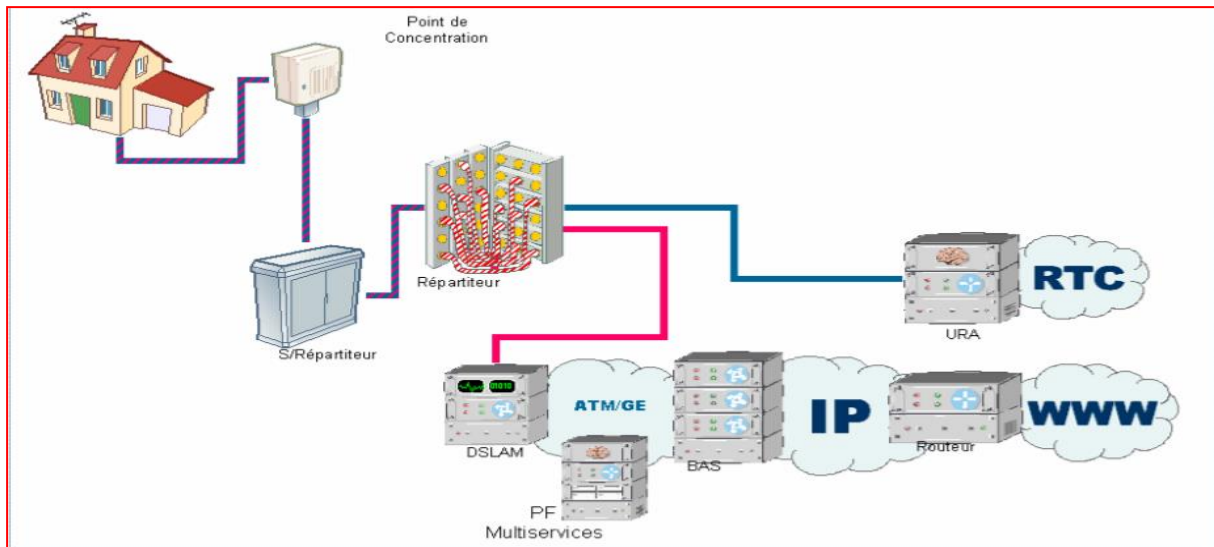


Figure 2.2 Le parcours vers le monde de l'Internet [1]

Sur la Figure 2.2, on distingue:

- **Les points de concentration PC**

Le PC (Points de Concentration) est un mini répartiteur de petite capacité (quelques dizaines de paires). Les paires téléphoniques viennent au PC sur des réglettes, des connexions transmissibles les relient à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution. Les PCs sont des petites boîtes installées sur des poteaux en bois ou bien en béton, armoire....[9] (voir Figure 2.3).



Figure 2.3 Le point de concentration et le répartiteur principal [15]

- **Les sous répartiteurs SR**

Sont des "casiers" installés sur les trottoirs. Ils permettent de rassembler les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un Sous -Répartiteur peut brancher jusqu'à 1500 paires (voir Figure 2.4) [9].

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs



Figure 2.4 Armoire de sous-répartition [16]

- **Le répartiteur**

Dans le répartiteur on trouve des barrettes verticales dites têtes de câble verticales pour raccorder les lignes et des réglettes horizontales pour raccorder les points d'arrivés des lignes sur l'autocommutateur, le répartiteur principal (RP) constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. La liaison entre Verticales et Horizontales se fait au moyen de jarretières [9] (voir Figure 2.5). Le rôle d'une jarretière : moyen pour assurer la continuité de la paire entre câbles ou entre câbles et équipements actifs dans les SR et RP.

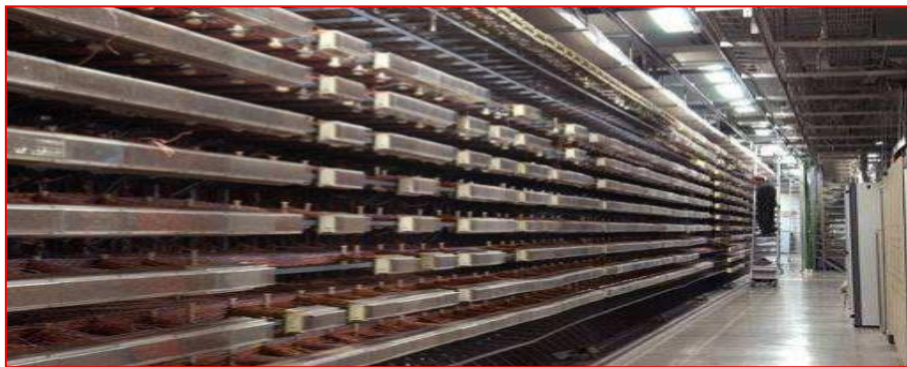


Figure 2.5 Le répartiteur [1]

- **Filtre ADSL (SPLITTER)**

Présent côté client et commutateur, il se présente sous forme d'un coffret qui peut être fixé au mur. Côté client il permet de séparer les fréquences téléphoniques des fréquences transportant les données, il offre une prise pour le téléphone et une pour le modem ADSL. Au centre, il permet de diriger les flux de données vers le DSLAM et le flux voix vers le réseau RTC. C'est un filtre passe-bas qui a pour rôle de laisser passer uniquement le signal téléphonique vers les terminaux téléphoniques (le filtrage des hautes fréquences des signaux ADSL se fait quant à lui dans le modem) [14].



Figure 2.6 Le Filtre ADSL au DSLAM [1, 17]

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

- **Le DSLAM**

Est un multiplexeur (appareil assurant une fonction de multiplexage) qui permet d'assurer sur les lignes téléphoniques un service de type DSL (Digital Subscriber Line) « Internet haut débit, télévision par ADSL, VoIP... », le plus souvent dans le but de permettre un accès, à haut débit, à Internet. Techniquement, le DSLAM récupère le trafic de données, issu des lignes d'abonnés DSL, transitant sur les lignes téléphoniques qui lui sont raccordées, après que ce trafic a été séparé du trafic vocal issu de la téléphonie classique, grâce à un filtre. Géographiquement, le DSLAM se situe à la terminaison de la boucle locale (partie entre la prise téléphonique et le répartiteur) [18]. Le parcours ADSL sur cuivre s'arrête à cette terminaison, après c'est de l'optique [1].

- **Le Brasseur ATM**

Il assure la diffusion des données transitant sur le réseau de collecte ATM (Asynchronous Transfer Mode: mode de transfert asynchrone), le ATM est un protocole réseau de niveau 2 à commutation de cellules, qui a pour objectif de multiplexer différents flots de données sur un même lien utilisant une technique de type TDM (Time Division Multiple) ou MRT (multiplexage à répartition dans le temps).



Figure 2.7 Le DSLAM et Le Brasseur ATM [1]

Le DSLAM se situe au début de la liaison menant au BRAS EAS (Broadband Remote Access Server, Équipement d'Accès au Service), (Voir Figure 2.8).

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

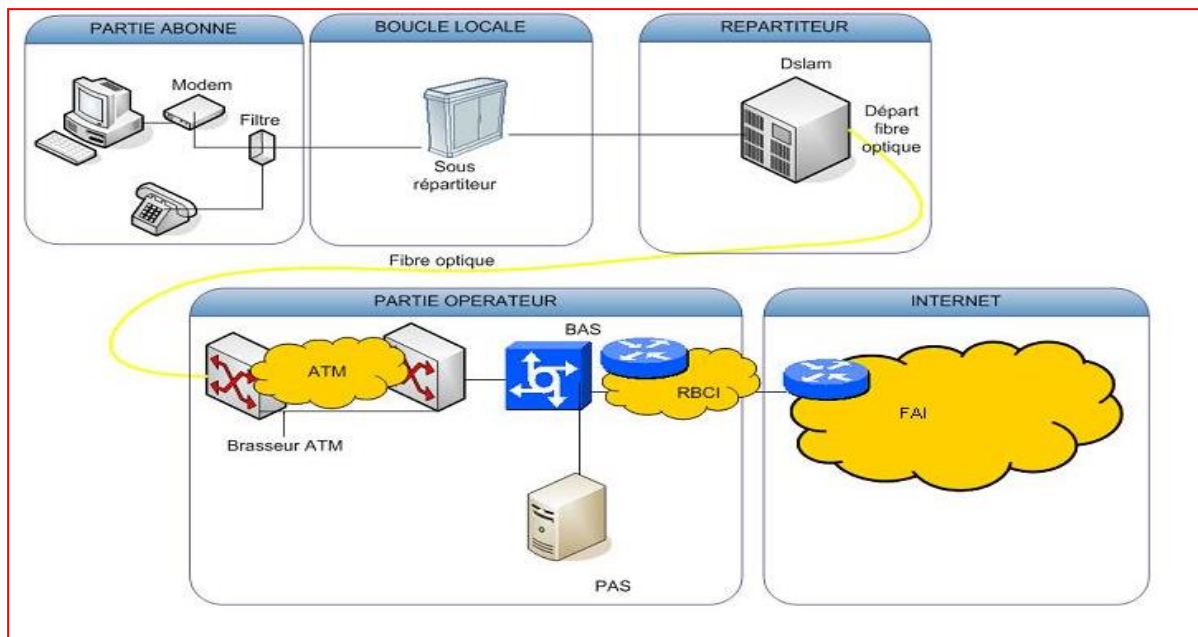


Figure 2.8 La chaîne globale d'une liaison ADSL [19]

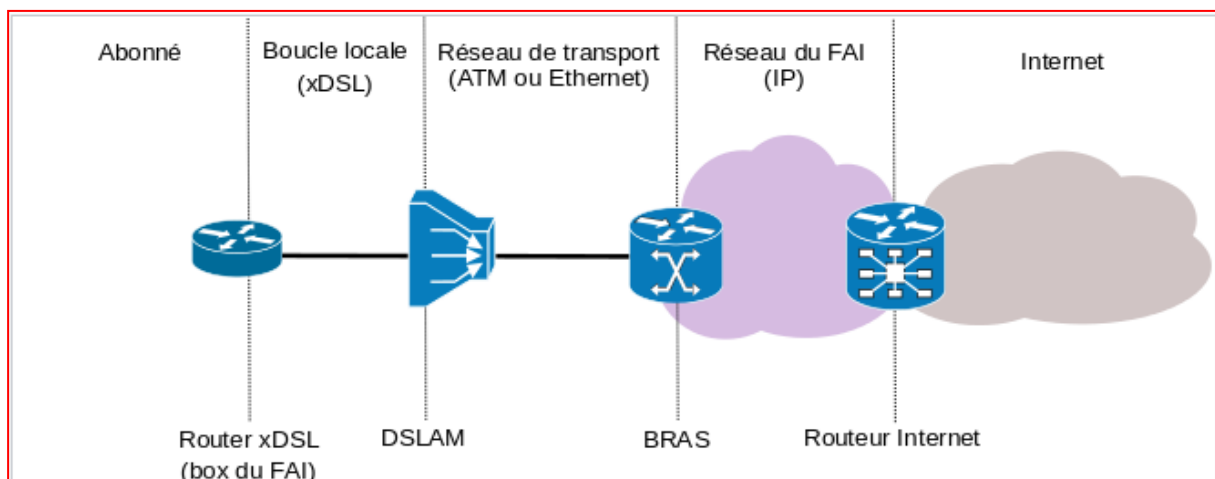


Figure 2.9 Le parcours en optique [18]

• **EAS /BAS** (Broadband Access Server) est un équipement réseau (typiquement un routeur), qui assure l'interconnexion entre les DSLAM d'un réseau xDSL et le réseau d'un FAI (Fournisseur d'accès à Internet : est un organisme offrant une connexion à Internet, un réseau informatique mondial) au travers du réseau de collecte IP. Ses tâches spécifiques sont les suivantes :

- Agréger le trafic en provenance des DSLAM,
- Faire respecter des notions de qualité de service,
- Router le trafic vers le nœud suivant dans le réseau du FAI ou Internet.

Il assure également le lien avec le PAS (Plate-forme d'Accès aux Services) pour l'authentification et la facturation [19].



Figure 2.10 Le EAS /BAS [1]

- **Routeur**

C'est l'équipement qui va assurer la liaison entre le BAS et le réseau du fournisseur d'accès.



Figure 2.11 Routeur IP vers l'Internet [1]

2.1.2 Les accès DSL

HDSL (High bit-rate DSL)

1,5 ou 2 Mbit/s, symétrique, sur 2 paires torsadées, 4 km max. Marché essentiellement professionnel.

SDSL (Symmetric DSL)

1,5 Mbit/s max. sur une seule paire, jusqu'à 3,5 km.

SHDSL (Symmetric High bit-rate DSL)

Jusqu'à 2,3 Mbit/s sur une seule paire, jusqu'à 3,5 km.

Jusqu'à 4,6 Mbit/s sur deux paires, à 3,5 km ou 2,3 Mbit/s à 5 km.

VDSL (Very high bit-rate DSL)

Débits jusqu'à 52 Mbit/s descendants et 6 Mbit/s remontant (il existe aussi une version à débits symétriques) distances de 300 m (pour débit max.) à 1200 m sur une paire principe proches de l'ADSL. Marché du VDSL: distribution vidéo large bande.

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

2.2 Rôle des opérateurs et le découpage

«A l'arrivée de chaque nouvelle technologie, c'est le cadre qui change, pas simplement l'image à l'intérieur du cadre» – Marshall McLuhan, philosophe canadien de la théorie de la communication [20].

Le dégroupage est une opération technique permettant l'ouverture du réseau téléphonique local à la concurrence. Les opérateurs concurrents ne disposent pas de la boucle locale (relier le client au répartiteur, parties Transport, Distribution et branchement) qui appartient à l'opérateur télécom historique du pays. Le dégroupage permet aux opérateurs concurrents d'accéder à cette boucle locale, soit en partie par le biais du dégroupage partiel, soit en totalité par le biais du dégroupage total. Le dégroupage permet aux opérateurs concurrents de bénéficier d'un accès direct à l'utilisateur final. Ils sont en mesure de contrôler de bout en bout le réseau et de fournir ainsi un service différencié de celui de l'opérateur historique. Le dégroupage rend possible, en théorie, une concurrence réelle dans les offres commerciales d'ADSL et serait ainsi un facteur de baisse des tarifs de détail [21].

2.3 Architectures

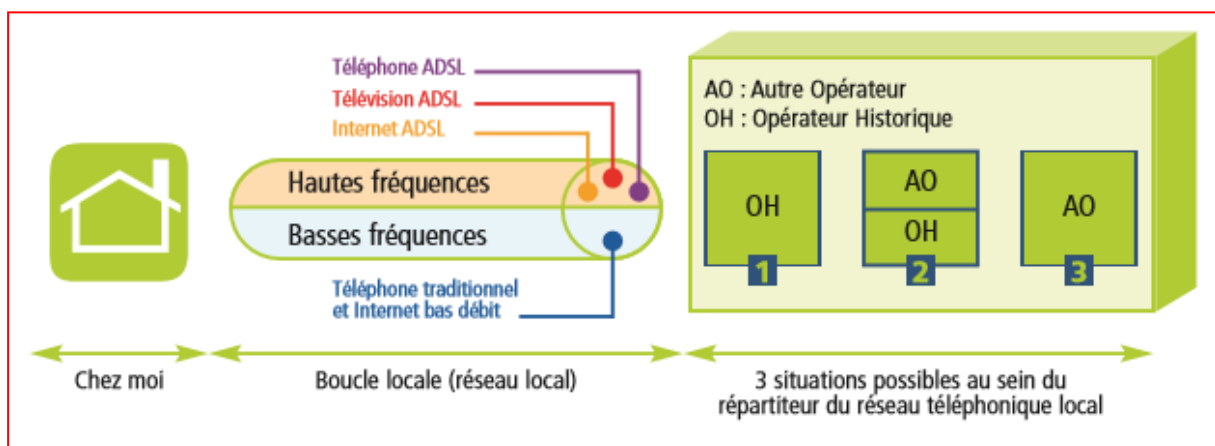


Figure 2.12 Le dégroupage [22]

Trois situations peuvent se présenter comme indiqué la Figure 2.12:

- 1- Ligne groupée (ou non dégroupée) : c'est la situation initiale. La gestion de l'ensemble des fréquences, hautes et basses, est assurée par l'opérateur historique.
- 2- Dégroupage partiel : une partie de la ligne (les hautes fréquences) est dégroupée. L'utilisateur est toujours client de l'opérateur historique et continue à payer l'abonnement correspondant et bénéficie de tous les services associés à sa ligne (abonnement téléphonique). L'Internet ADSL et les services associés (voix sur IP, télévision) peuvent être assurés par un autre opérateur [21,22] (voir Figure 2.13).

Grâce à un Filtre ADSL, toutes les données voix (basses fréquences) passent par le réseau de l'opérateur historique ; les données numériques (hautes fréquences) passent, au-delà du central téléphonique, par le DSLAM de l'opérateur tiers. Les appareils « bas débit » (télécopie, Minitel, accès Internet bas débit) utilisant les basses fréquences peuvent ainsi être toujours utilisés par le client [21].

- 3-Dégroupage total : un seul opérateur gère toutes les fréquences. L'utilisateur n'est plus client et ne paie plus l'abonnement de l'opérateur historique. Sa ligne est directement reliée (au

Chapitre 2 Présentation des technologies de réseaux d'opérateurs

niveau du NRA (le premier Noeud de Raccordement d'Abonné)) aux équipements (DSLAM) de l'opérateur concurrent (tiers) [21,22], (voir Figure 2.13).

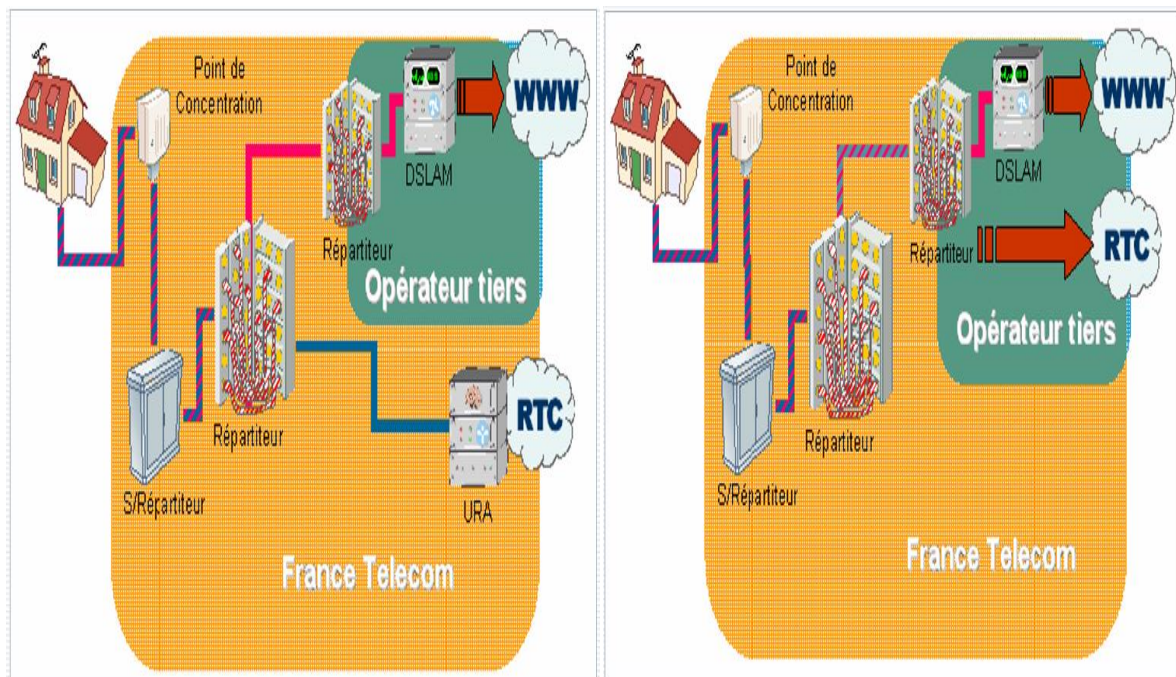


Figure 2.13 Dégroupage : partiel et total [1]

Transport des données PDH et SDH

3.1 La numérisation du signal téléphonique

Le signal parole est un signal continu, il est défini à tout instant t et sa valeur à un instant t peut prendre toutes les valeurs comprises entre une tension $-V_{\max}$ et $+V_{\max}$ [9] (voir Figure 3.1).

Numérisation: transformation d'un signal continu dans le temps et à valeurs continues en une suite discrète en temps et à valeurs discrètes [1].

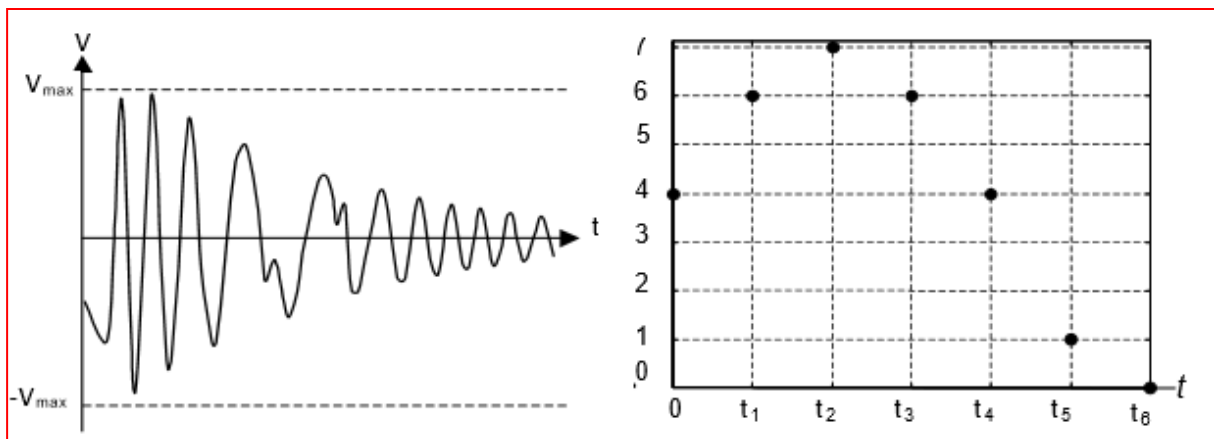


Figure 3.1 Signal continu et signal numérique [9]

L'intérêt du numérique par rapport à l'analogique [23]:

Faible taux d'erreurs en numérique.

-Analogique: on transmet la forme d'onde.

Amplificateurs pour compenser les affaiblissements, amplification également du bruit, des distorsions et effet cumulatif.

-Numérique: on transmet des bits (en bande de base ou modulés).

Répéteurs qui identifient le signal (détection la séquence de bits 0/1), le régénèrent et le réémettent pas d'ajout de bruit, pas d'effet cumulatif.

- Information (voix, images, musique, données) sous forme numérique possibilité de multiplexage.
- Débits beaucoup plus élevés en numériques.
- Progrès technologiques: coût des composants numériques est largement inférieur à celui des composants utilisés pour analogique.

Pour obtenir un signal numérique à partir d'un signal analogique, on procède en trois étapes;

1. Echantillonnage: prélever régulièrement des échantillons d'un signal analogique avec une certaine fréquence [23] (voir Figure 3.2).

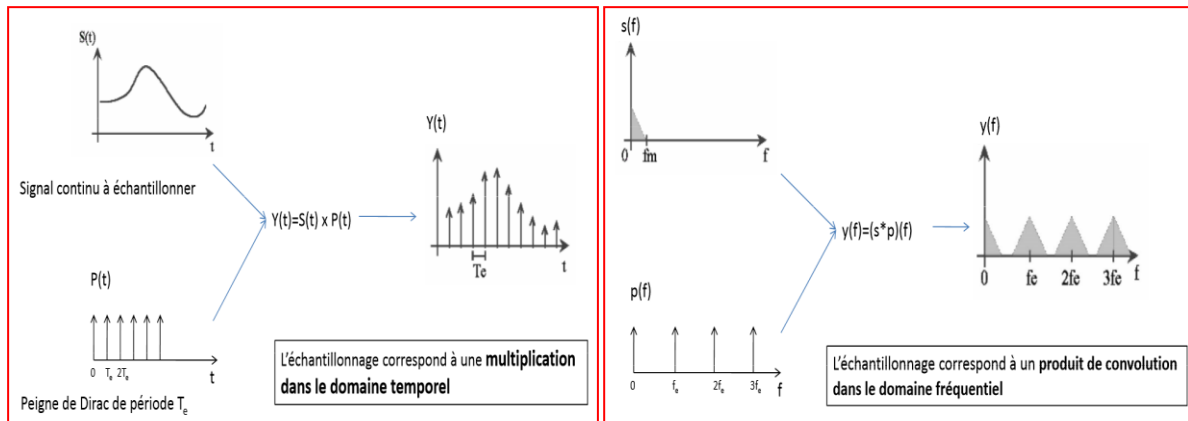


Figure 3.2 Echantillonnage [1]

-Repliement de spectre si la fréquence max du signal f_m est supérieure à la moitié de la fréquence d'échantillonnage f_e (voir Figure 3.3).

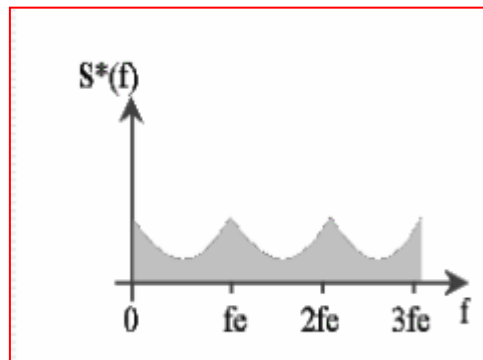


Figure 3.3 Repliement de spectre [1]

-La solution: Faire un échantillonnage à très haute fréquence pour déterminer la fréquence max f_m , puis définir une fréquence d'échantillonnage pour laquelle la condition de Shannon est respectée $f_e > 2.f_m$.

-En téléphonie: norme CCITT (Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique) G.711 ; Échantillonnage: 8kHz ; Quantification: sur 8 bits ; Débit : 64kb/s.

2. Quantification: approximation des valeurs d'un signal par un multiple entier d'une quantité élémentaire q (échelon de quantification) [23] (voir Figure 3.4).

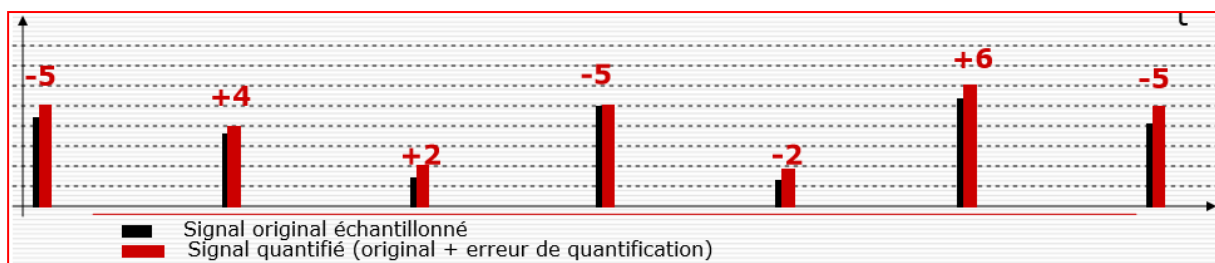


Figure 3.4 Quantification [1]

3. Codage: c'est faire correspondre à chaque symbole d'un alphabet une représentation binaire [1].

3.2 Multiplexage

Le multiplexeur est un équipement qui permet de mettre en relation plusieurs utilisateurs, à travers une liaison partagée, en point à point. Il s'agit d'une méthode de gestion de l'information physique qui permet à un canal de transporter des informations de plusieurs sous canaux, et en full duplex. Un multiplexeur n voies simule sur une seule ligne n liaisons points à points. Chaque voie d'entrée et de sorties est appelée voie incidente. Le multiplexage des voies, c'est-à-dire la voie véhiculée par le support partagé est appelée voie composite. Le partage de la voie composite peut être un partage de la bande disponible (spatial : en fréquence ou en longueur d'onde), ou un partage temporel, c'est-à-dire chaque signal utilise durant un temps prédéterminé toute la bande utile de la voie composite. Les multiplexeurs temporels relient par scrutation une voie incidente en entrée à une voie incidente en sortie durant un intervalle de temps prédéterminé, appelé IT [24].

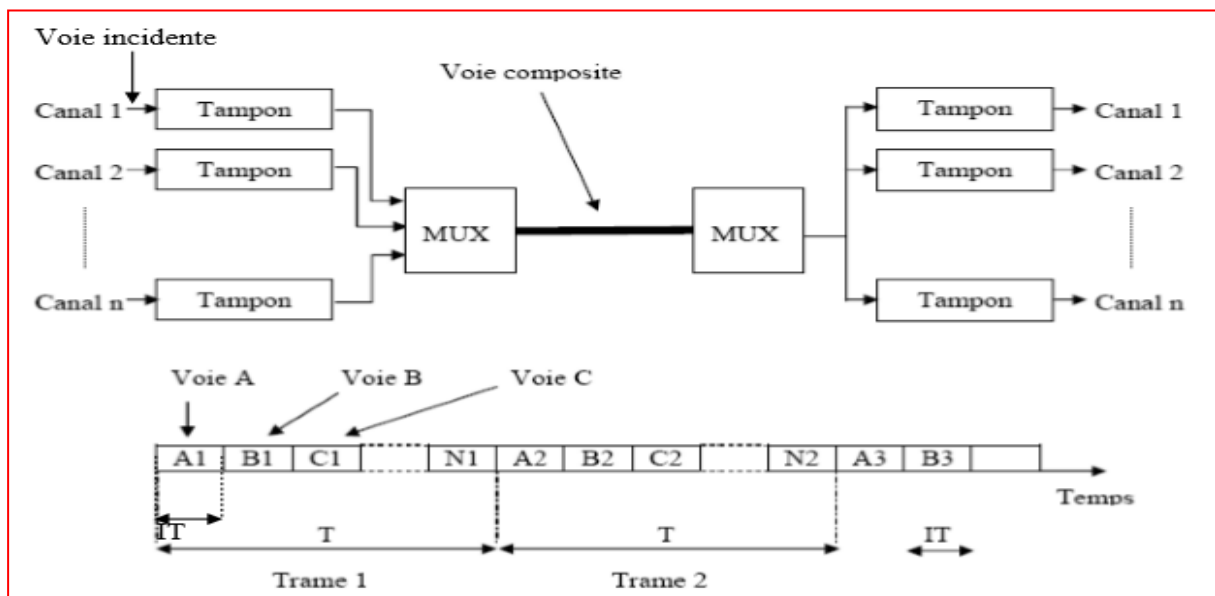


Figure 3.5 Exemple de multiplexage temporel [24]

Les signaux entrants (canal 1 à canal n) qui seront multiplexés sont appelés les affluents (tributary). Dans la Figure 3.5, le système transporte des bits, le multiplexeur n'interprète pas les données qu'il transporte, il est dit transparent au protocole. L'arrivée des données est indépendante du fonctionnement du multiplexeur : les informations qui arrivent pendant la période de scrutation des autres voies sont mémorisées dans un tampon (buffer).

-Multiplexage bit à bit

Le multiplexage bit à bit consiste à insérer un bit de chaque voie (A_k, B_k, \dots, N_k représente un seul bit). En appelant trame, le motif élémentaire qui contient les informations de chacune des voies, chaque trame reçoit donc un bit de chaque canal avec une durée identique. Le bit N_k sera retardé par rapport au bit A_k , mais ce décalage est faible. La resynchronisation est permise par le biais de tampon.

-Multiplexage octet par octet

Le fonctionnement est identique au multiplexage bit par bit, on insère maintenant un octet de chaque canal entrant. Les informations A_k, \dots, N_k de chaque trame sont donc composées de 8 bits.

-Multiplexage numérique temporel

Echantillonner à 8 kHz revient à prendre un échantillon tous les 125 μ s. Pour transmettre l'information issue d'une seule ligne, il faut transmettre 8bits tous les 125 μ s ce qui fait une cadence de $8/125 \cdot 10^{-6} = 64$ kb/s. Les moyens technologiques permettent des transmissions à des débits beaucoup plus élevés (> 600 Mb/s). Donc pour transmettre plusieurs communications téléphoniques sur le même support il faut un multiplexage dans le temps.

L'intervalle de temps de 125 μ s est appelé trame. Chaque Intervalle de Temps de 3.9 μ s sera appelée IT, chaque IT constitue un canal de communication à 64 kb/s. La ligne multiplexée de débit 2.048 Mb/s transportant 32 IT est appelée Multiplex ou MIC. Le standard prévoit que 30 IT transporteront des communications téléphoniques, les 2 IT restantes transporteront les informations de synchronisation et de signalisation [9] (voir Figure ci-dessous).

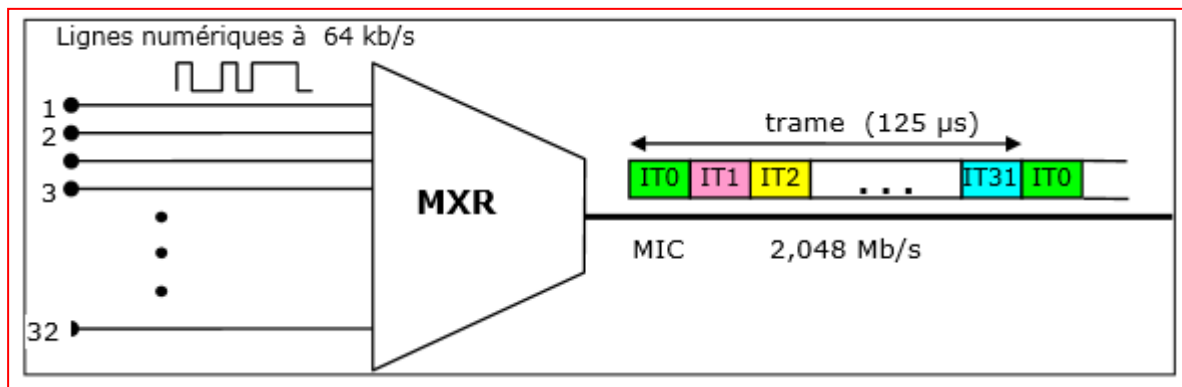


Figure 3.6 Multiplexage numérique temporel [9]

La Figure ci-dessous montre la structure des 16 trames constituant une multitrame entière (2ms).

- L'IT0 de toutes les trames porte le mot Alignement de Trame AT.
- Les IT 1 à 15 et 17 à 31 portent les Voies Téléphoniques VT1 à VT15 et VT16 à VT30.
- L'IT16 de la trame 0 porte le mot Alignement de Multitrame AMT.
- L'IT16 de la trame n porte les signalisations de la VTn et de la VTn+15.

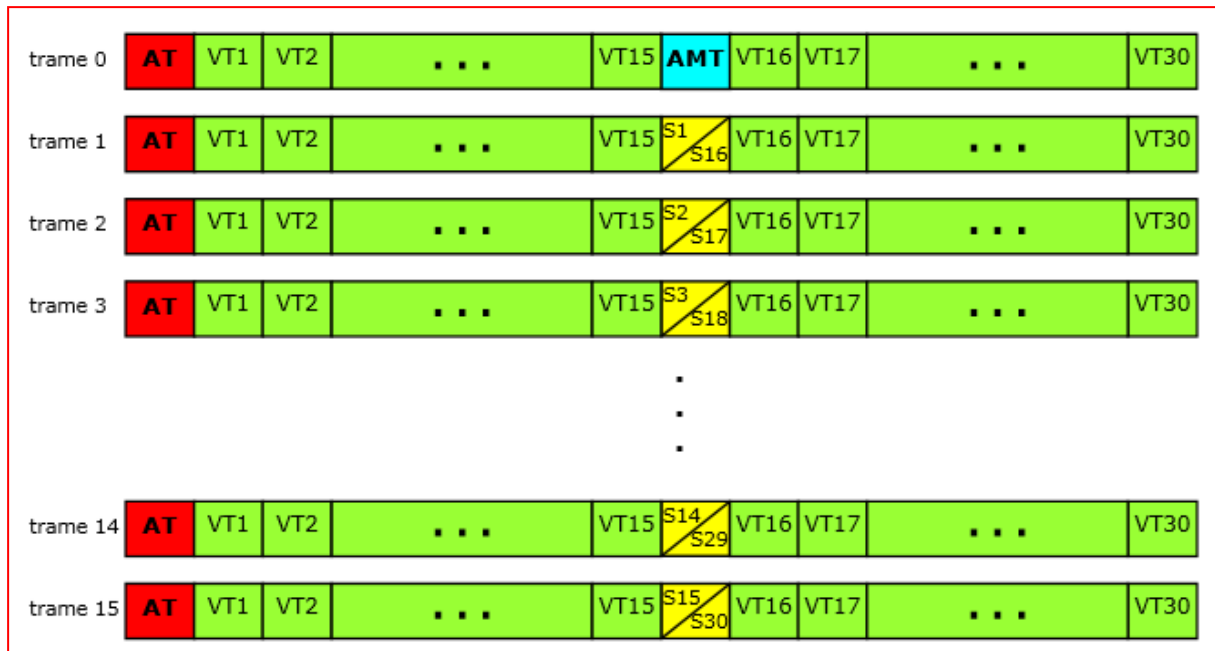


Figure 3.7 Structure des trames des MIC primaire du système européen [9]

3.3 Hiérarchie numérique

Consiste à regrouper des multiplex pour constituer un nouveau multiplex d'ordre supérieur. Le débit du multiplex de sortie est supérieur à la somme débits incidents car le multiplexeur insère dans la trame des informations de services et des bits de justification pour compenser les écarts d'horloge des multiplex incidents [1].

Le multiplex numérique primaire TN1 ou E1 (est communément appelée E1, pour multiplex Européen d'ordre 1) dont le rôle est de multiplexer 30 voies à 64kbit/s. Il est nécessaire donc de monter davantage en débit en multiplexant à des niveaux supérieurs c'est-à-dire regrouper les multiplex 4 par 4 pour obtenir un multiplex de niveau supérieur [9].

3.3.1 Hiérarchie numérique plésiochrone

L'ensemble des multiplex de différents niveaux (Ordre) s'appelle une hiérarchie. Cette hiérarchie de multiplex successifs est dite PDH (Plésiochrone Digital Hiérarchy) [9].

C'est une technologie utilisée dans les réseaux de télécommunications afin de véhiculer les voies téléphoniques numérisées. Le terme « plésiochrone » vient du grec plesio (proche) et chronos (temps) et reflète le fait que les réseaux PDH utilisent des éléments identiques mais non parfaitement synchronisés [25]. Le multiplexage aux niveaux supérieurs se fait bit à bit et non pas mot par mot [9].

La combinaison du multiplexage décrit permet un débit de 8 Mbit/s. Des techniques similaires permettent d'agréger quatre de ces flux pour former des conduits de 34 Mbit/s puis 140 Mbit/s et enfin 565 Mbit/s.

Ces débits sont nommés E_i avec [25]:

- E1 correspondant à 2 048 kbit/s
- E2 correspondant à 8 Mbit/s

- E3 correspondant à 34 Mbit/s
- E4 correspondant à 140 Mbit/s (le plus haut débit normalisé)
- 560 Mbit/s n'ayant jamais été normalisé.

L'utilisation du PDH se limite le plus souvent à 140 Mbit/s.

Le Tableau 3.1 donne le détail des différents niveaux de la hiérarchie PDH européenne [9, 24].

Ordre du multiplex	ligne	Σ débits entrant	surdébit introduit IT kb/s	surdébit hérité IT kb/s	surdébit total IT kb/s	débit utile IT kb/s	débit total IT kb/s	Normes associées
TN1	E1	-	2 128	-	2 128	30 1920	32 2048	G704 G706
TN2	E2	128IT 8192 kb/s	4 256	8 512	12 768	120 7680	132 8448	G741 G742
TN3	E3	528 33792	9 576	48 3072	57 3648	480 30720	537 34368	G751
TN4	E4	2148 137472	28 1792	228 14592	256 16384	1920 122880	2176 139264	G751
TN5	E5	8704 557056	124 7936	1024 65536	1148 73472	7680 491520	8828 564992	

Tableau 3.1 Niveaux Hiérarchiques PDH pour l'Europe [9, 26]

La Figure ci-dessous montre l'hiérarchie PDH [9].

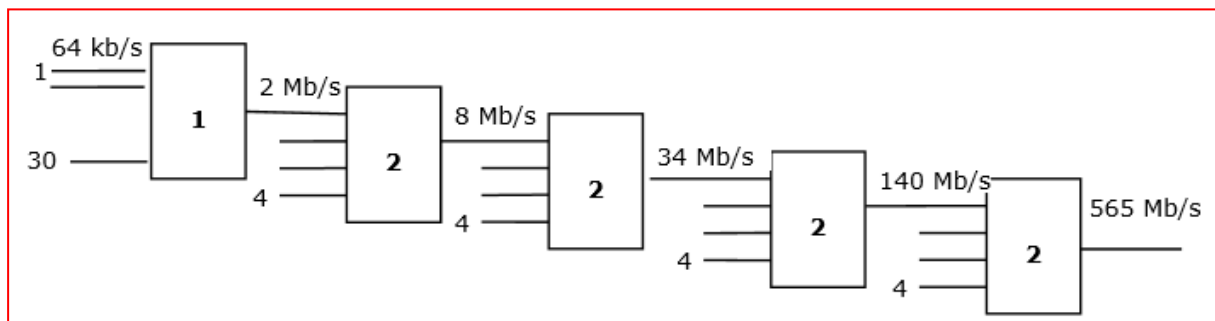


Figure 3.8 Hiérarchie PDH [9]

3.3.2 Trame secondaire PDH selon la recommandation G744

Ce système est utilisé quand il s'agit de multiplexer exclusivement des voies téléphoniques. Le multiplexage est synchrone, il est supposé que toutes les horloges des canaux affluents sont synchrones, il n'y a donc pas de dispositif de justification. Les 4 affluents sont multiplexés octet par octets et 4 IT de services sont introduites. On obtient une trame de $4 \times 32 + 4 = 132$ IT. La durée de la trame est $125 \mu s$ ce qui donne un débit de 8448 kb/s. la trame est organisée comme suit [9]:

- Une IT de verrouillage de trame : 11100110.
- 4 IT accueillant les 4 mots AT des 4 affluents.
- 4 x 7 IT accueillant les 7 première VT des 4 affluents entrelacées IT par IT.
- Une IT de rechange (Spare Time Slot).
- 4 x 8 IT accueillant les 8 VT suivantes des 4 affluents.
- Une IT contenant 6 bits de verrouillage de trame (100000) et 2 bits réservés.
- 4 IT accueillant les IT16 des 4 affluents.
- 4 x 7 IT accueillant les 7 VT suivantes des 4 affluents.
- Une IT de rechange (Spare Time Slot).
- 4 x 8 IT accueillant les 8 VT suivantes des 4 affluents.



Figure 3.9 Structure d'une trame secondaire (G744) [9]

3.3.3 Trame Secondaire des MICs TN2 selon G742

Ce système est utilisé quand il s'agit de multiplexer des voies numérique où l'on ne peut pas se permettre de perdre des bits à cause de l'anisochronisme de réseau téléphonique. Il s'agit d'un multiplexage bit par bits des affluents.

La longueur de la trame est de 848 bits et sa durée est voisine de 100.4 μ s. Le débit est de 8448 kb/s. Le multiplex secondaire ignore la structure des rames primaires et ne considère que des flux de bits.

La trame est constituée de 4 groupes de 212 bits chacun.



Figure 3.10 Structure d'une trame secondaire (G742) [9]

Le premier groupe est structuré de la façon suivante:

- Un mot de verrouillage de trame de 12 bits, 1111010000AR, les bits A et R sont des alarmes.

- 4 x 50 bits constitués des 50 premiers bits des 4 affluents.

Les trois groupes suivants sont structurés de la façon suivante:

- Un ensemble de 4 bits d'indication de justification dont nous expliquerons la signification plus loin.
- 4 x 52 bits constitués des 52 bits suivants des 4 affluents.

3.3.4 Structure des trames d'ordres supérieurs

Les trames des multiplex supérieurs sont construites d'une manière similaire à la trame secondaire.

3.3.5 Hiérarchie numérique synchrone

L'inconvénient majeur du système plésiochrone est la nécessité de démultiplexer tous les débits pour accéder à un 64k spécifique. Dans les années 1987 à 1989 apparaît une nouvelle hiérarchie numérique internationale de transmission: la Hiérarchie numérique synchrone; cette hiérarchie numérique synchrone SDH (Synchronous Digital Hierarchy) est basée sur un débit STM1 (Mode de Transfert Synchrone de niveau 1) [25].

L'extraction d'une voie sur un multiplex haut débit est possible directement [1].

La hiérarchie numérique synchrone SDH représente un standard international pour les télécommunications à haut débit dans les réseaux optiques de transmission. Cette technologie permet le transport des signaux numériques transmis avec des débits variables. Basée sur la technique de multiplexage temporel TDM (Time Division Multiplexing), SDH est conçue pour gérer les communications en mode circuit de bout en bout et est utilisée pour transporter des flux IP/MPLS (Internet Protocol/Multiprotocol Label Switching), DSL, Ethernet, PDH, etc [26].

La structure de multiplexage dans la hiérarchie numérique synchrone s'articule autour d'une trame de base: le signal STM-1. A partir du STM-1, la norme SDH prévoit la construction des trames de niveau N (STM-N) ayant des débits supérieurs. Ses débits sont illustrés dans la Figure 3.10 et représentent les débits permis (capacités standardisés) sur les liens SDH [26].

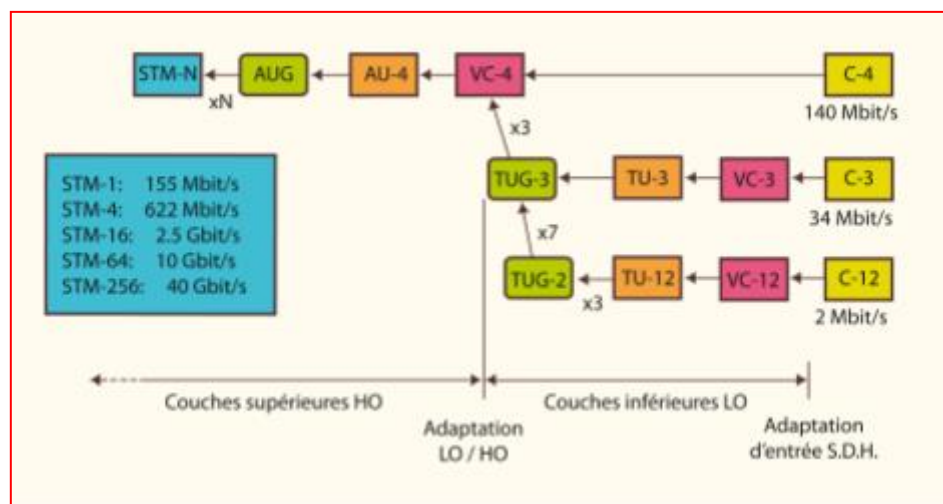


Figure 3.10 Structure de multiplexage SDH [26]

La Figure 3.10 montre une vue simplifiée de la structure de multiplexage de la norme SDH. Les affluents sont d'abord mappés dans des zones contiguës appelées conteneurs C (Container). Chaque conteneur est identifié par son débit maximum admissible (2, 34, 140 Mbps). Ces conteneurs sont incorporés dans des conteneurs virtuels VC (Virtual Container) pourvus d'une zone d'octets de service appelée surdébit de gestion. Les conteneurs virtuels VC flottent dans des blocs d'unités d'affluents TU (Tributary Unit). La position des VC dans

les TU est donnée par un pointeur placé dans les TU. Les TU sont multiplexés octet par octet dans les zones appelées groupe d'unités d'affluents TUG (Tributary Unit Group). Un TUG peut être aussi multiplexé dans un TUG supérieur (TUG-2 dans TUG-3). Les TUG sont à leur tour groupés dans un conteneur virtuel, dit d'ordre supérieur HO (High Order), VC-4. Ces conteneurs virtuels HO flottent dans des zones d'unités administratives AU (Administrative unit). Les unités administratives AU sont ensuite multiplexés dans un groupe d'unités administratives AUG (Administrative Unit Group). Chaque AUG comporte les informations de justification et d'alignement pour chaque VC qu'il contient. Ces informations (identification, alignement et justification des VC) sont disposées à un emplacement connu dans le surdébit de gestion de la trame STM.

3.3.6 La trame SDH

Le transport de données s'effectue par blocs de données appelées Trames; chaque bloc comporte deux principales zones de données: La zone des informations ou données de services, et les données transportées désignées par charge utile. La trame de base, appelée STM-1 est structurée en octet et est divisée en trois zones dévolues aux informations suivantes:

- Capacité Utile (Payload) qui est l'information utile, c'est-à-dire celle de l'utilisateur.
- Les pointeurs
- Le surdébit de section SOH (Section OverHead) qui est réservée à l'exploitation et à la maintenance. En effet, l'exploitation et la maintenance nécessitent l'utilisation de données de services, bits ou octets supplémentaires qui accompagnent les données. Elles entraînent une augmentation de débit.

Le signal utile, c'est-à-dire l'affluent est projeté dans une enveloppe adaptée au débit du signal et à la structure de la trame, appelé Conteneur.

-Le Conteneur (Cn)

Le conteneur Cn est une entité sous forme de blocs d'octets dont la capacité est dimensionnée pour assurer le transport d'un des différents débits affluents à la SDH définis par le CCITT. Le conteneur joue le rôle de régénération du signal plésiochrone de départ, il récupère l'horloge et transforme le code de transfert selon les débits entrants. Le " n " de Cn dépend du débit entrant, par exemple [24]:

Dénomination	Débit entrant (Mbits/s)
C11	1.544
C12	2.048
C3	34.368 ou 44. 736
C4	139.264

Tableau 3.2 Récapitulatif des différents débits versus le conteneur [24]

-Le conteneur virtuel VCn

Le conteneur virtuel VCn est alors obtenu à partir du conteneur en lui ajoutant un entête POH (Path Over Head) utilisé pour la gestion du conteneur (routage, concaténation, justification...) [24].

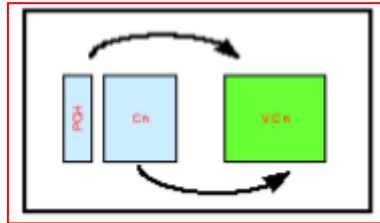


Figure 3.12 Conteneur virtuel [24]

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

Il existe deux niveaux de VC : Le Low-Order VC (LO-VC) et le High Order VC (HO-VC).

Les LO-VC correspondent aux affluents de base 1.5Mbits/s (DS1) et 2 Mbit/s (E1) (soit VC-11 et VC-12) et aux affluents PDH : 6Mbit/s et 34 Mbit/s ou 45 Mbit/s (respectivement VC-2 et VC-3).

-L'unité d'affluent : TUn (Tributary Unit)

Pour pouvoir remplir un VC avec un affluent et le projeter dans la trame SDH, tout en pouvant le localiser immédiatement, la SDH utilise un pointeur, c'est-à-dire une adresse. L'idée est de ne pas placer le conteneur à un endroit précis dans la trame, ce qui nécessiterait des mémoires-tampons pour synchroniser, mais d'indiquer dans une zone mémoire (pointeur), l'adresse relative du conteneur par rapport au début de la trame. Pratiquement, le VC flotte donc à l'intérieur des trames et est le plus souvent en chevauchement sur deux trames consécutives. Ce pointeur est nécessaire car les Tus sont construites à l'aide d'horloge SDH qui est indépendante de celles des affluents, le début d'une TU ne coïncide pas forcément avec celui d'un VC. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du VCn dans la trame de transport. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC dans la trame de transport, c'est à dire que la position du VC dans la trame peut changer s'il y a justification.

Le pointeur a donc deux fonctions importantes : Rattraper le déphasage des trames synchrones (justification) et assurer la synchronisation des trames asynchrones.

La justification est l'opération permettant d'adapter un signal de débit variable dans une trame de débit fixe.

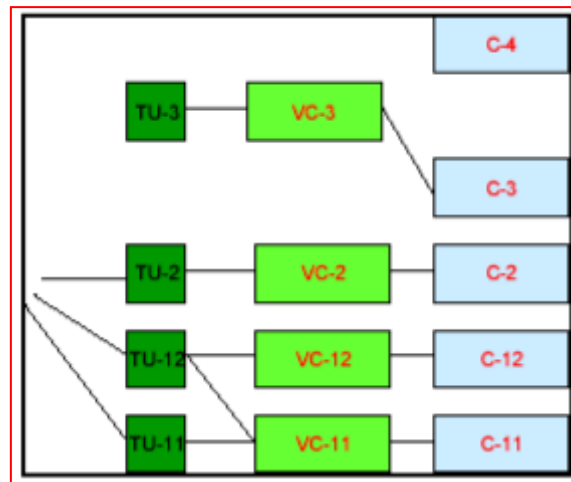


Figure 3.13 L'unité d'affluent [24]

-Le groupe d'unité d'affluent : TUGn (Tributary Unit Group)

Un groupe d'unité d'affluent (TUG) représente une structure virtuelle de la trame réalisant le multiplexage de TU. Le TUG est un multiplex temporel d'unités d'affluents TU 1, 2 ou 3 multiplexés entre eux. Cela permet de regrouper des TUs pour les assembler en une entité (bloc) de dimension supérieure. Le multiplexage se fait toujours octet par octet. Le TUG peut être considéré comme les règles de rangement des TU dans la trame de transport.

Par exemple:

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

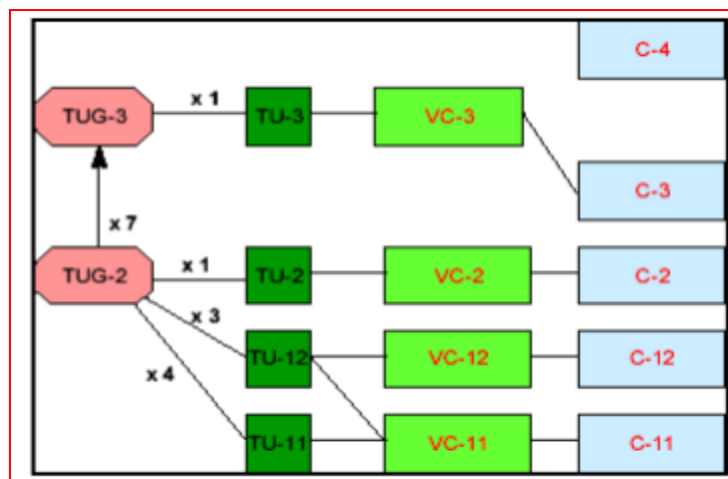


Figure 3.14 Groupe d'unité d'affluent [24]

-L'unité administrative AU (Administrative unit) pour le haut débit

L'unité d'administration AU se compose d'un conteneur virtuel d'ordre supérieur associé à un pointeur d'AU. La valeur de ce pointeur indique l'emplacement du début du container dans la trame STM-n utilisée. Ainsi, l'unité administrative AU4 est composée du VC4 et du pointeur PTR associé. La valeur du pointeur indique le début du VC4 dans la trame de transport utilisée. Ce pointeur est associé au processus de justification du VC4.

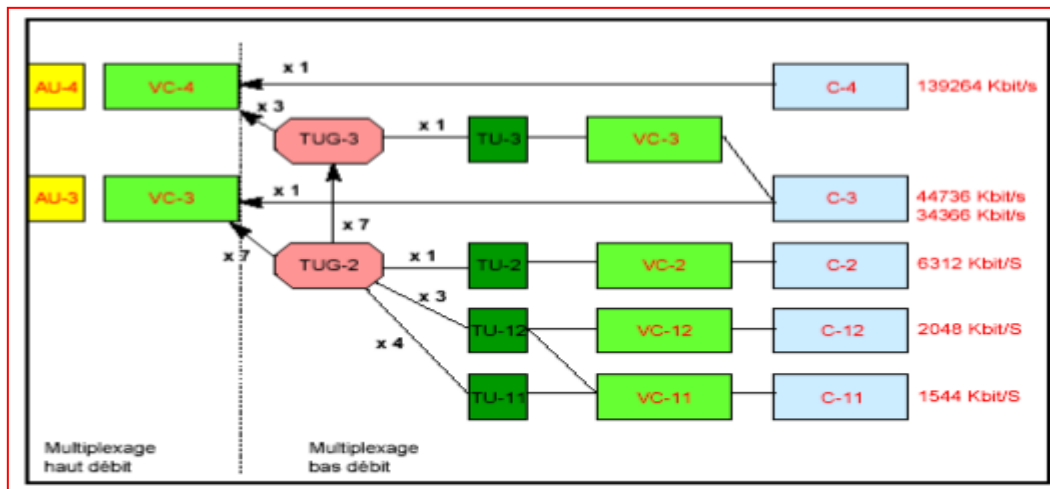


Figure 3.15 Unité administrative [24]

-Le groupe d'unité Administrative : AUG (Administrative unit Group)

Le groupe d'unité administrative n'est pas une nouvelle entité physique mais représente une structure virtuelle de la trame. L'AUG correspond à la place que doit occuper l'AU4 dans la trame de transport ou à la place de 3 unités d'ordre 3 multiplexées.

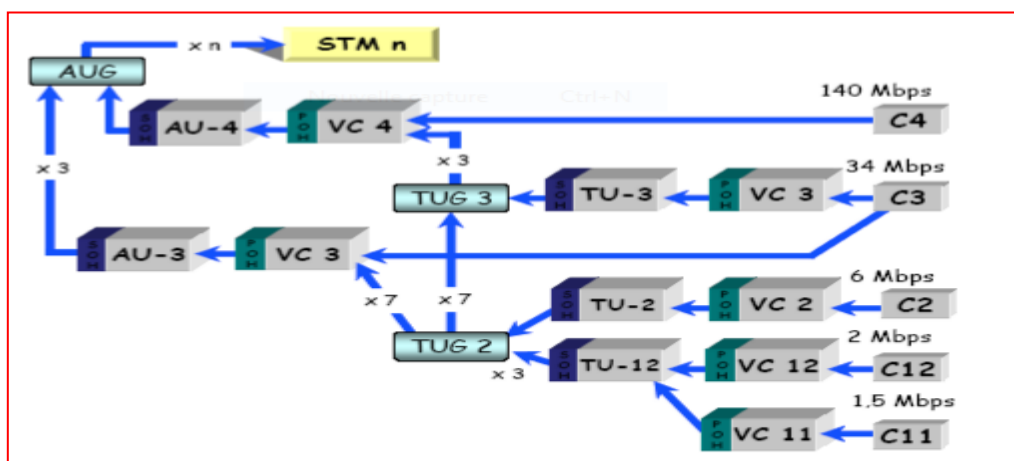


Figure 3.16 Structure de la SDH [24]

-Les trames de transport STM-n (Synchronous Transport Module) du SDH

Les trames de transport STM-n sont obtenues en multiplexant n AUG. De la même manière qu'un sur-débit POH est utilisé pour la gestion des conduits, on ajoute à la trame de transport STM-n un sur-débit de section SOH (Section Overhead).

3.3.7 IP sur SDH

La technologie SDH est utilisée dans de nombreux réseaux cœur à très grandes capacités et est basée généralement sur une infrastructure optique. Le coût des réseaux SDH est très important, notamment le coût des équipements (cartes de transmission, cartes de brassage, fibres optiques) qui dépend de la manière de router le trafic et d'allouer les ressources. Cet aspect de routage et d'allocation de ressources, qui a des répercussions économiques, est suffisamment important pour les opérationnels des réseaux SDH qui cherchent à optimiser le revenu de leurs infrastructures installées [26].

L'utilisation de la SDH et de la fibre optique a apporté un début de réponse à la demande de bande passante. Toutefois, la SDH utilisant une seule longueur d'onde comprise entre 1330 nm et 1550 nm, la bande passante de la fibre optique n'est pas exploitée complètement. Pour amplifier fortement l'utilisation de la bande passante, des technologies photoniques complètent le réseau de transport SDH. La technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) multiplexe 8, 16, 32 à 64 longueurs d'onde dans une seule fibre (équivalent à un multiplexage en fréquences) [24].



Figure 3.17 Vue générale d'un réseau de transport SDH [26]

Une architecture typique d'un réseau SDH pour de nombreux opérateurs est illustrée dans la Figure 3.17. En général, un réseau SDH est constitué d'un ensemble de nœuds interconnectés par des liaisons de fibres optiques selon des topologies en anneaux, maillés, en étoile ou

même en bus. Cependant, la topologie en anneaux reste la plus déployée étant donné qu'elle permet de sécuriser le transport du trafic à un coût plus raisonnable que les autres solutions. Les différentes entités d'un réseau SDH sont décrites dans ce qui suit [26].

1-Les Nœuds

La hiérarchie numérique synchrone SDH définit trois types de nœuds:

- Multiplexeurs terminaux TM (Terminal Multiplexer): ils permettent l'adaptation et le multiplexage des affluents des différents clients pour constituer les trames SDH. Ils assurent également l'opération inverse. Ces multiplexeurs sont situés à l'entrée des réseaux SDH.
- Multiplexeurs à insertion/extraction ADM (Add Drop Multiplexer): ils sont principalement utilisés pour la construction des anneaux SDH où ils assurent le transfert des données entre l'Est et l'Ouest tout en autorisant l'extraction et/ou l'insertion des affluents multi-services assemblés dans les trames SDH. Le basculement des affluents entre les deux lignes de l'anneau (Est et Ouest) se fait à travers des cartes de brassage, tandis que la transmission dans les fibres se fait grâce aux cartes de transmission installées dans les ADMs. Les nœuds ADM sont déployés principalement dans les réseaux d'accès et métropolitains.
- Brasseurs numériques DXC (Digital Cross Connect): ils permettent de réarranger les affluents dans les trames SDH. Grâce aux cartes de brassage, les DXCs peuvent commuter les affluents entre des lignes d'entrée et des lignes de sorties. Les DXCs sont principalement utilisés dans les réseaux cœur SDH.

2-Les Liens

Les liens SDH représentent les supports physiques reliant les nœuds du réseau. Il s'agit, dans la plupart des cas, de fibres optiques sur lesquelles les trames SDH sont transmises. La capacité d'une fibre SDH est déterminée par le débit de la trame transmise sur cette fibre.

3-Les Anneaux

Les anneaux représentent la structure la plus déployée dans la pratique. Les anneaux assurent un transport de données complètement sécurisé contre les pannes des nœuds ou la coupure des fibres.

Réseau de transport optique

4.1 Evolution de l'infrastructure transport

Les réseaux de télécommunications numériques ont évolué à travers trois grandes étapes [27]: réseaux asynchrones, réseaux synchrones, réseaux optiques.

Un réseau peut être modélisé de la manière suivante (voir Figure 4.1):

- une couche service qui fournit les fonctions nécessaires aux communications de l'utilisateur final ;
- une couche infrastructure : ATM, IP, RTC... ;
- une couche transport qui fournit la connectivité entre les équipements (ATM, IP...) sur un média ; physique: fibre optique, radio, hertzien, cuivre.

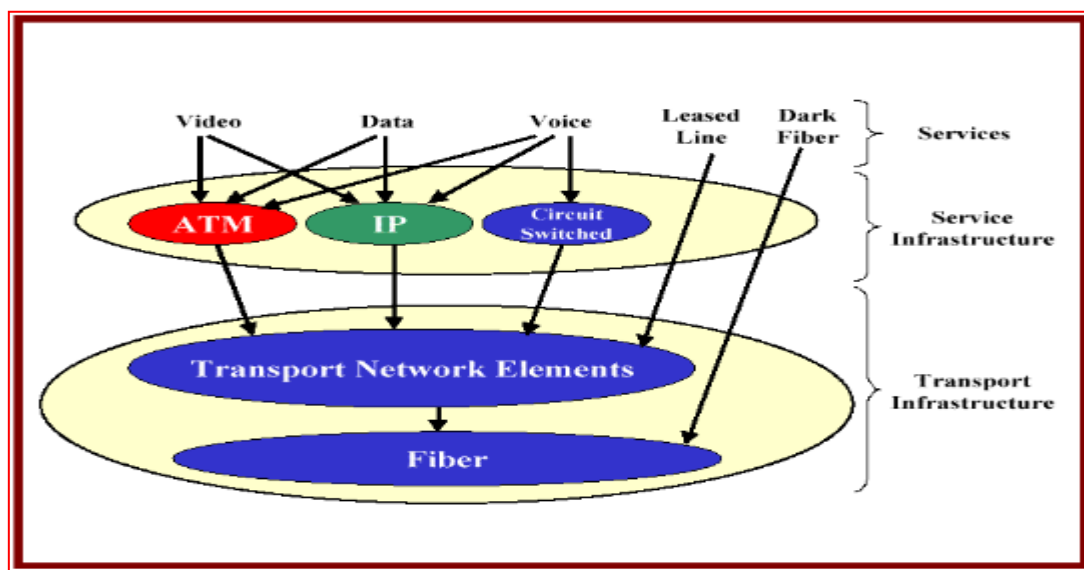


Figure 4.1 Couches réseaux, modèle actuel [28]

4.1.1 Les trois grandes étapes [27]

- Réseaux asynchrones

Chaque élément du réseau a sa propre horloge interne utilisée pour transmettre les signaux, cette indépendance des horloges se traduit par des dérives qui conduisent à des erreurs sur l'information (« bit errors »). Ce type de réseau ne supporte pas le haut-débit.

- Réseaux synchrones

L'aboutissement de la standardisation est la création du réseau optique synchrone (SONET aux USA, SDH en Europe). Sont définis : les débits, les codages, la structure de la trame, les fonctionnalités opérationnelles et de maintenance.

Les opérateurs peuvent utiliser des équipements de constructeurs différents. Actuellement les réseaux SONET-SDH des opérateurs utilisent couramment les débits de 2.5 Gbs et 10 Gbs. Cependant les limitations des lasers et la disponibilité de fibre optique font que l'augmentation des débits dans cette technologie n'est pas envisageable.

-Réseaux optiques

Les réseaux optiques ont commencé avec WDM (Wavelength Division Multiplexing) puis ont évolué vers DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), ces technologies fournissent de la capacité additionnelle sur les fibres existantes. Les réseaux optiques sont basés sur l'utilisation de multiples longueurs d'ondes ; les composants d'un réseau définiront comment les longueurs d'onde sont transmises, assemblées, mises sur le réseau.

Un réseau optique (réseau de photons) peut pourvoir aux besoins de IP et ATM et transporter SDH, PDH (voir Figure 4.2), chacun de ces protocoles peut être associé à une longueur d'onde (voir Figure 4.3).

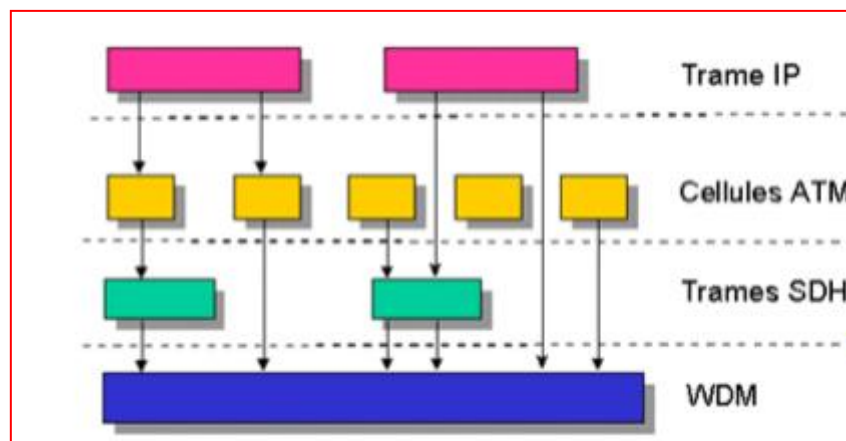


Figure 4.2 Combinaison entre les différentes couches services et transports [29]

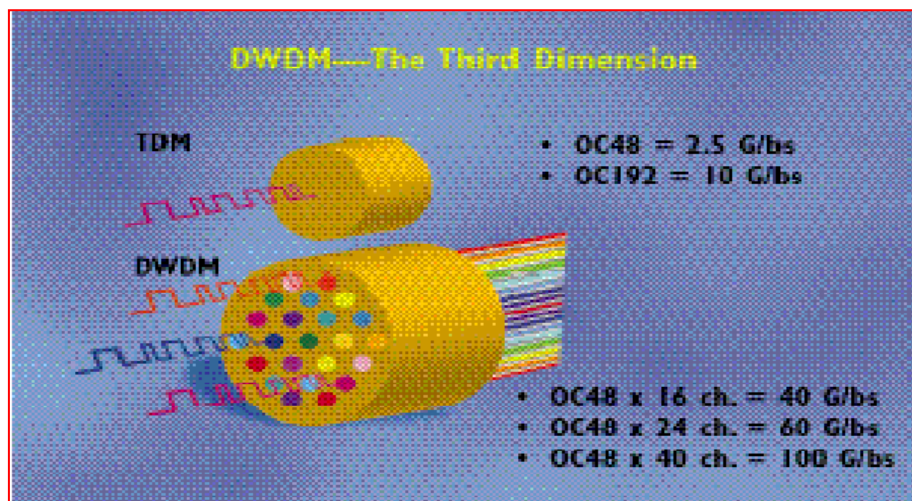


Figure 4.3 La technologie DWDM [28]

4.1.2 Facteurs d'évolution vers les réseaux optiques [27]

Les principaux facteurs peuvent être résumés de la manière suivante :

- Exploiter la fibre existante pour réduire les coûts d'installation ou utiliser au mieux l'infrastructure existante sur les chemins où la pose de fibre est très difficile. DWDM fournit plusieurs « fibres virtuelles » sur une seule fibre en associant chaque signal à une longueur d'onde.

- Supporter les standards de l'industrie afin de mettre en œuvre des équipements d'origine différente.
- Déployer des technologies mûres pour réduire les risques opérationnels.
- Augmenter la disponibilité du réseau en minimisant les interruptions de service. En cas de rupture de liaison, c'est la couche optique qui assure la restauration du réseau ; il y a les mêmes fonctionnalités que sur les anneaux Sonet-SDH.
- Faire évoluer la capacité du réseau de manière incrémentale sans investissement important en équipement et management à chaque modification de topologie.
- Simplifier le réseau pour réduire les coûts opérationnels, le nombre d'équipements optiques est inférieur au nombre d'équipements opto-électriques d'un réseau TDM (ex: les amplificateurs de ligne).

4.2 Technologies WDM et DWDM

4.2.1 Technologie WDM [26]

Le progrès technologique a permis l'émergence de la technique de multiplexage en longueur d'onde WDM, qui permet de combiner plusieurs canaux sur le même signal optique, chaque canal utilisant une longueur d'onde différente. La bande passante disponible dans une fibre peut être alors considérablement étendue: chaque longueur d'onde permet un débit de plusieurs Gbps et des dizaines de longueurs d'onde sont utilisables. Cette évolution permet d'exploiter une plus large bande passante de la fibre optique que celle qu'utilise un seul émetteur optique dans le cas de SDH.

Le multiplexage en longueur d'onde consiste à juxtaposer plusieurs signaux de longueurs d'onde différentes sur la même fibre optique. Afin de mettre en œuvre cette technique, un système WDM utilise deux terminaux interconnectés par une liaison optique. Le premier terminal est un multiplexeur et le second terminal est un démultiplexeur. La Figure 4.4 illustre le modèle d'une liaison WDM entre deux terminaux.

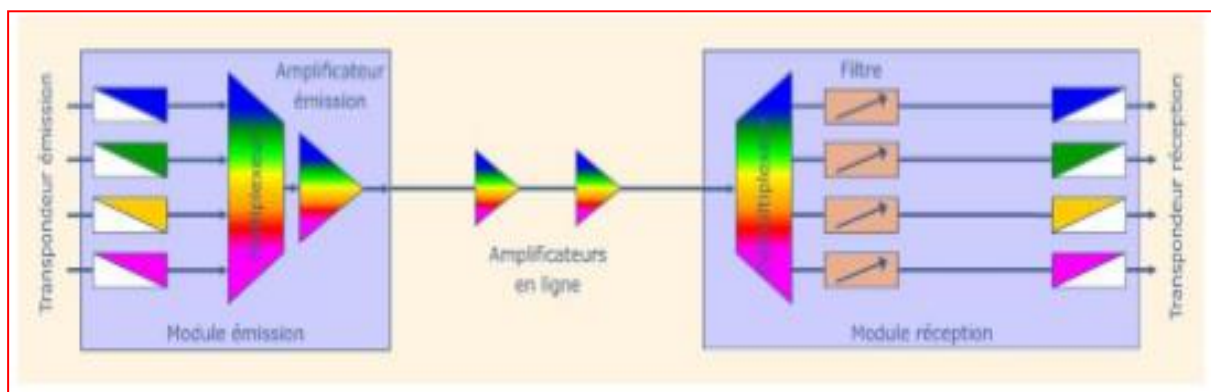


Figure 4.4 Modèle d'une liaison WDM [26]

Le multiplexeur a un double rôle. Il s'agit d'abord de changer les longueurs d'onde des signaux entrants en utilisant des transpondeurs, et ensuite les multiplexer sur un seul support physique. Lorsque des signaux clients arrivent au niveau du multiplexeur, il est possible qu'ils aient la même longueur d'onde, même s'ils proviennent d'émetteurs différents (c'est le cas de SDH où tous les signaux sont envoyés sur une seule longueur d'onde de 1300 nm ou 1550

nm). Etant donné qu'il est inacceptable de transmettre deux fois la même longueur d'onde sur un même lien optique au risque d'interférence, c'est le transpondeur qui se charge du changement des longueurs d'onde. Les transpondeurs constituent les interfaces d'émission et de réception des signaux optiques dans un système WDM. Leur fonction consiste à transformer un signal client (SDH, PDH, Ethernet,...) en un signal optique associé à une longueur d'onde WDM. Une fois les signaux optiques définis, ils seront multiplexés sur un signal WDM qui est transmis sur le support physique. Ce signal peut subir des amplifications et régénérations pour faire face aux atténuations possibles tout au long de la liaison optique.

A la réception, le démultiplexeur agit comme plusieurs filtres dans des zones de longueurs d'onde données. En connaissant les longueurs d'onde circulant dans le support optique, le démultiplexeur peut donc retrouver l'intégralité des signaux qui ont été multiplexés au départ. Des transformations de longueurs d'onde sont ainsi réalisées, grâce aux transpondeurs, pour récupérer les signaux clients originaux (signaux SDH par exemple).

4.2.2 Eléments d'un réseau WDM

Les éléments essentiels constituant un réseau WDM [30]:

-Les multiplexeurs terminaux OTM (Optical Terminal Multiplexer)

Le multiplexeur terminal optique réalise le multiplexage de n signaux optiques ($n=4, 16, 32, \dots$) de longueurs d'ondes différentes.

A l'émission, l'OTM reçoit les signaux STM-N de n longueurs d'onde ($\lambda_1 \dots \lambda_n$) à partir d'un équipement client (ex : équipement SDH), convertit ces signaux, multiplexe, amplifie, ajoute le canal de supervision λ_s puis les envoie sur la fibre optique.

A la réception, l'OTM traite d'abord le canal de supervision λ_s ensuite démultiplie les n signaux dans des canaux individuels et les distribue à l'équipement client correspondant.

-Les multiplexeurs Add-Drop OADM (Optical Add-Drop Multiplexer)

Cet élément de réseau réalise le transfert ou l'insertion-extraction d'une ou plusieurs longueurs d'ondes. Il se constitue d'un ensemble de multiplexeurs qui rajoutent ou enlèvent une ou plusieurs longueurs d'ondes vers la destination appropriée sur le réseau, et toutes ces opérations sont faites sans passer par une conversion électrique du signal.

-Les amplificateurs de ligne OLA (Optical Line Amplifier)

Il consiste à réaliser en ligne une amplification de l'ensemble du spectre optique. Toutes les longueurs d'ondes du spectre se trouvent ainsi ré-amplifiées sans avoir besoin de démodulation individuelle. Les gains des amplificateurs optiques varient entre 20 et 30 dB, ce qui permet de récompenser les pertes de la liaison sur des distances de l'ordre de 100 km.

-Les régénérateurs électriques (REG)

Un REG met en œuvre la fonction 3R (reshaping/re-timing/regenerating). C'est-à-dire remodeler, re-synchroniser et régénérer, afin d'améliorer la qualité du signal et étendre la distance de transmission. Une station REG contient :

- Unité de transpondeur optique (OTU)
- Multiplexeur optique (OM)
- Démultiplexeur optique (OD)
- Amplificateur optique (OA)
- Unité de canal de supervision optique (OSC)
- L'unité d'interface de la fibre (FIU).

4.2.3 Technologie DWDM

La norme internationale ITU-T G 692 (Interfaces optiques pour systèmes multi-canaux avec amplificateurs optiques) a défini un peigne de longueurs d'onde autorisées dans la seule fenêtre de transmission 1530-1565 nm. Elle normalise l'espacement en nanomètre (nm) ou en Gigahertz (GHz) entre deux longueurs d'onde permises de la fenêtre : 200 GHz ou 1,6 nm et 100 GHz ou 0,8 nm [31].

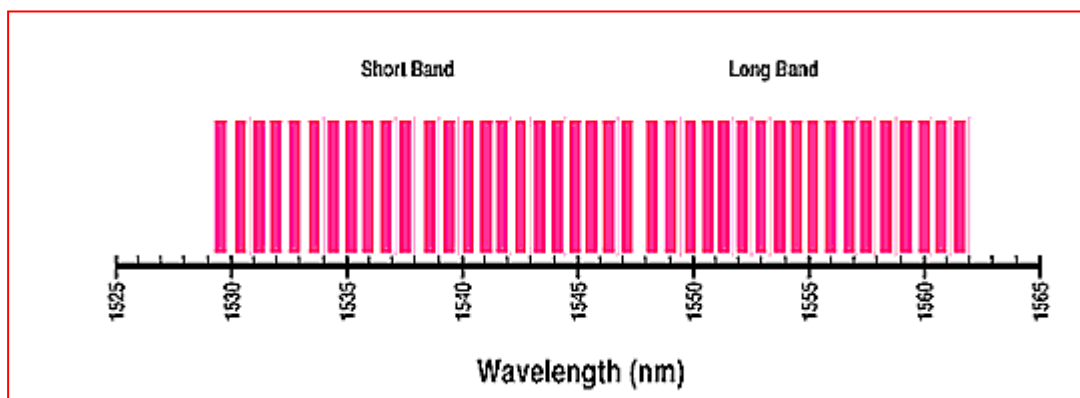


Figure 4.5 Peigne des fréquences en DWDM [31]

La technologie WDM est dite dense (DWDM) lorsque l'espacement utilisé est égal ou inférieur à 100 GHz. Des systèmes à 50 GHz (0,4 nm) et à 25 GHz (0,2 nm) ont déjà été testés et permettront d'obtenir des centaines de longueurs d'onde, on parlera alors de U-DWDM : Ultra - Dense Wavelength Division Multiplexing.

Les systèmes WDM / DWDM commercialisés aujourd'hui comportent 4, 8, 16, 32, 80, voire 160 canaux optiques, ce qui permet d'atteindre des capacités de 10, 20, 40, 80, 200 voire 400 Gb/s en prenant un débit nominal de 2,5 Gb/s et de quatre fois plus avec un débit nominal de 10 Gb/s. Ainsi, on obtient 3200 Gb/s (3,2 Tb/s) avec 80 canaux optiques à 40 Gb/s. 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. Il faut également s'attendre à un accroissement du débit offert sur chaque canal qui pourrait rapidement atteindre 10 Gbit/s.

-Exemple: Multiplexer 8 canaux en utilisant des filtres électroniques pour isoler chaque canal.

Ainsi, on peut transmettre 8 liaisons à 2.5 Gbit/s sur une seule fibre, d'où économie de 7 fibres et autant de paires de répéteurs. Ce système est idéal pour transmettre des conteneurs SDH.

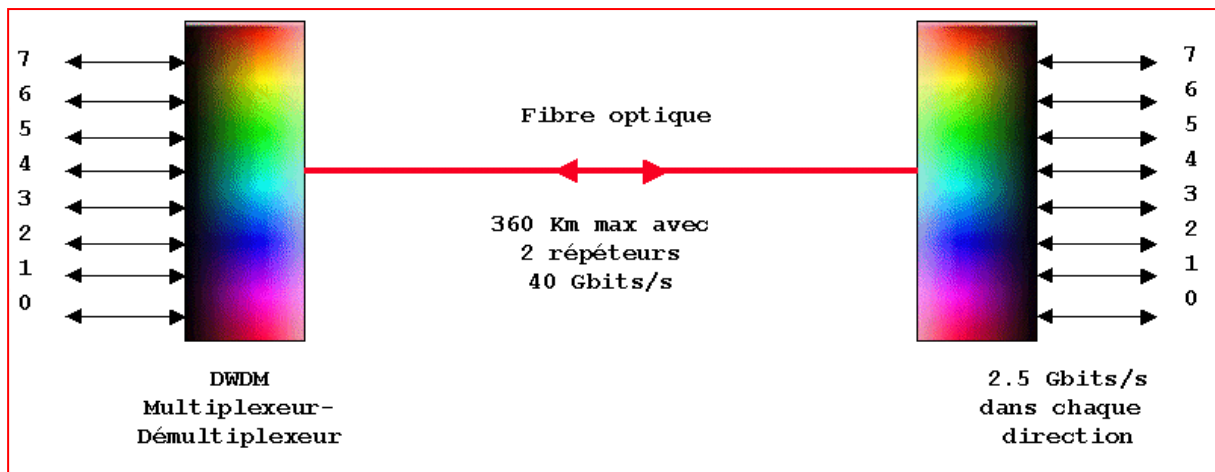


Figure 4.6 Multiplexage en DWDM [31]

-Décomposition en couleurs

Chaque canal est filtré et correspond à une paire les longueurs d'onde:

Exemple: - Canal 0 => 1548.51 nm et <= 1549.32 nm

- Canal 1 => 1550.12 nm et <= 1550.92 nm

- Canal 7 => 1559.79 nm et <= 1560.61 nm

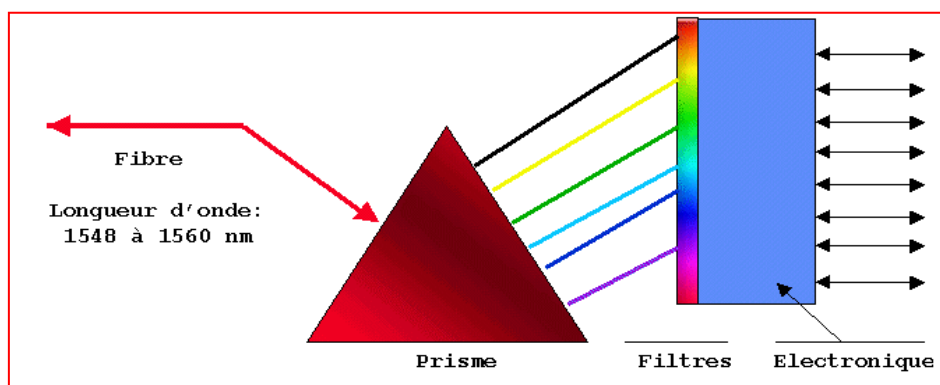


Figure 4.7 Décomposition en couleurs [31]

4.3 Applications [28]

4.3.1 Réseaux longue distance LHN (Long-Haul Networks)

Ce sont les premiers réseaux à avoir intégré les technologies WDM puis DWDM :

- Utilisation de l'infrastructure fibre existante.
- Utilisation des équipements Sonet-SDH existants.
- Capacité d'évolution incrémental, par pas de 2.5 Gbs par exemple.
- Opération indépendante des débits et des formats de données.
- Première étape vers les réseaux tout optique.
- Répéteur optique tous les 120 km.

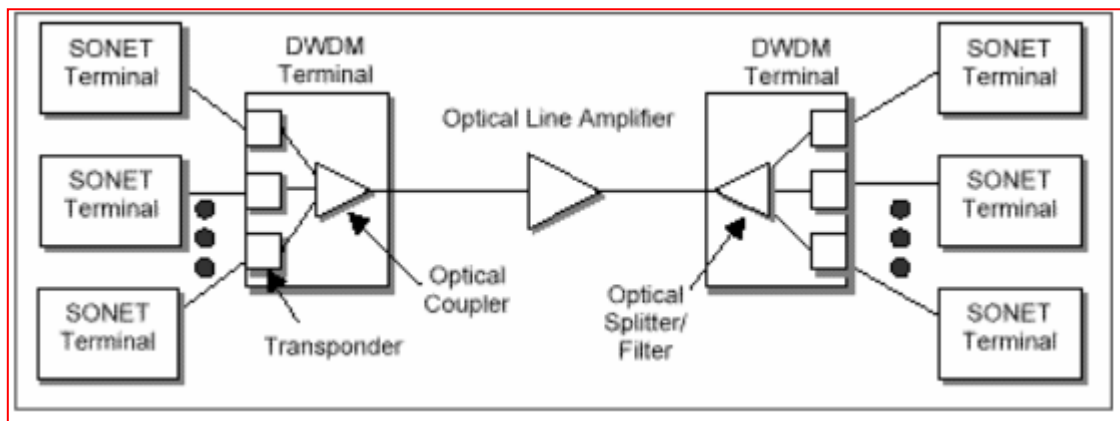


Figure 4.8 Architecture d'un réseau optique longue distance [28]

4.3.2 Réseaux métropolitains MIN (Metro Interoffice Networks)

Pour couvrir les besoins de l'environnement métropolitain, l'orientation vers des anneaux optiques et des multiplexeurs ? add /drop? pour augmenter la flexibilité est impérative. Ces réseaux se connectent également à des réseaux optiques longue distance.

Les interfaces « clients » classiques pour ces réseaux sont OC (Optical carrier : porteuse optique) 3, OC12, Ethernet 100 Mbs, Gigabit Ethernet.

On construit des réseaux logiques en associant à chaque longueur d'onde un couple interface – protocole (ex : λ_1 =OC12 ATM, λ_2 = Gigabit Ethernet, λ_3 = IP/SDH, λ_4 = multicast) avec une parfaite séparation des trafics (sécurité ...).

Les principaux bénéfices du déploiement de réseaux optiques dans l'environnement régional et métropolitain :

- Réduction des coûts d'infrastructure physique en utilisant la fibre existante.
- Location de « fibres virtuelles » par le client.
- Coût faible par unité de débit (Mb/s).
- Amélioration de la fiabilité du réseau en diminuant les équipements électriques, en bénéficiant de la « restauration optique ».

- Protection par des mécanismes équivalents à ceux des anneaux SDH.

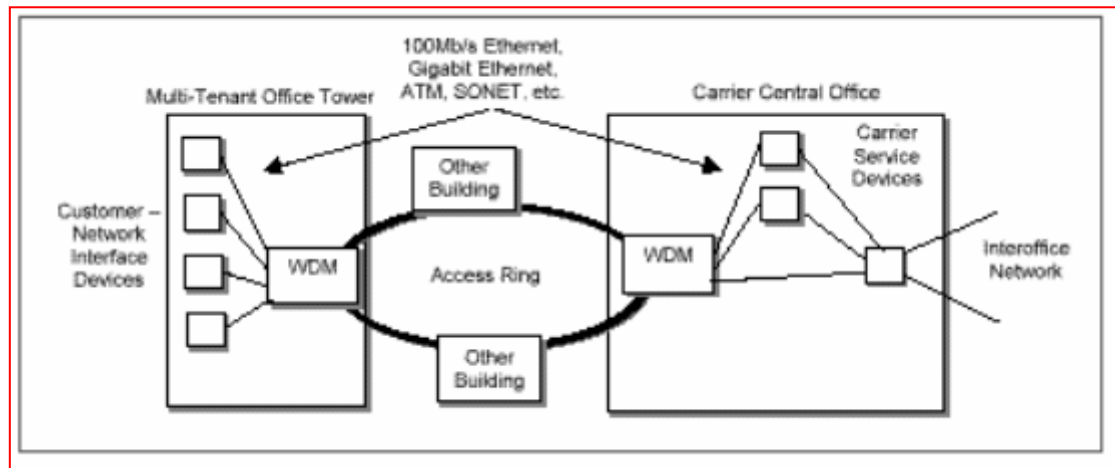


Figure 4.9 Architecture d'un réseau métropolitain en anneau [28]

Le tableau ci-dessous illustre le SDH niveau, le SONET niveau et la porteuse OC.

SONET Niveau de la porteuse optique (OC)	SONET Format de trame	SDH Niveau et format de trame	Bande passante de données utiles (kbit/s)	Débit de ligne (kbit/s)
OC-1	STS-1	STM-0	50 112	51 840
OC-3	STS-3	STM-1	150 336	155 520
OC-12	STS-12	STM-4	601 344	622 080
OC-24	STS-24	-	1 202 688	1 244 160
OC-48	STS-48	STM-16	2 405 376	2 488 320
OC-192	STS-192	STM-64	9 621 504	9 953 280
OC-768	STS-768	STM-256	38 486 016	39 813 120

Tableau 4.1 Désignations et bandes passantes SONET et SDH [32]

4.3.3 Exemple d'architecture

-Architecture Sonet-SDH

Les débits étant normalisés dans cet environnement, seul un anneau OC48 (2.5 Gbs) correspond aux besoins exprimés. Un convertisseur Giga Eth-Sonet est nécessaire sur les sites.

Le « backbone » n'est pas indépendant des débits et des protocoles, la bande passante disponible restante (1.2 Gbs) après mise en œuvre du réseau sur l'anneau Sonet ne permet d'accueillir qu'un nombre limité de services (1OC12 + 3OC3 par exemple).

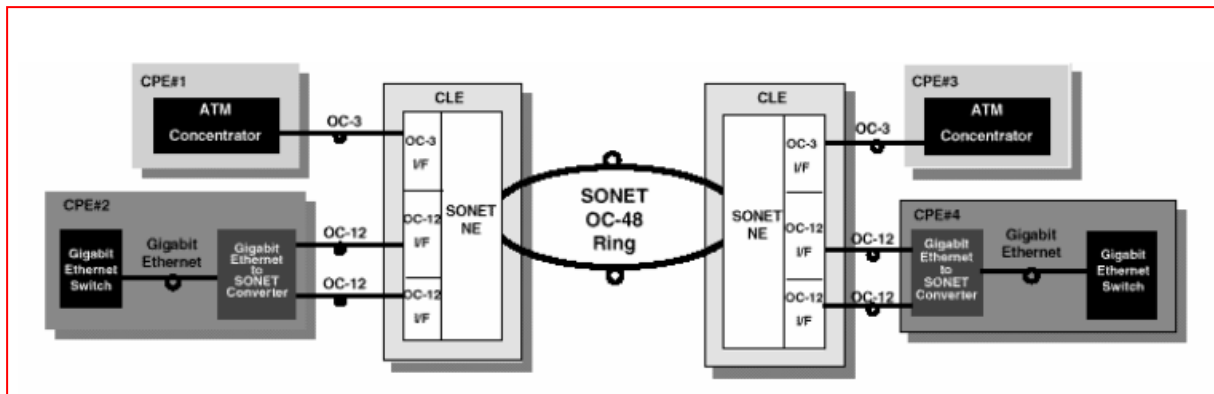


Figure 4.10 Réseau ATM et Giga Ethernet sur un anneau Sonet-SDH [28]

-Architecture DWDM

Dans cet environnement il n'y a pas d'influence des débits et des protocoles sur le «backbone», l'architecture du réseau s'en trouve simplifiée et le « backbone » a une bande passante « quasi illimitée ». La demande de nouveaux services ne posera aucun problème au niveau du « backbone », la seule limitation vient du nombre de longueurs d'onde que savent gérer les équipements DWDM (8, 16, 40, 80).

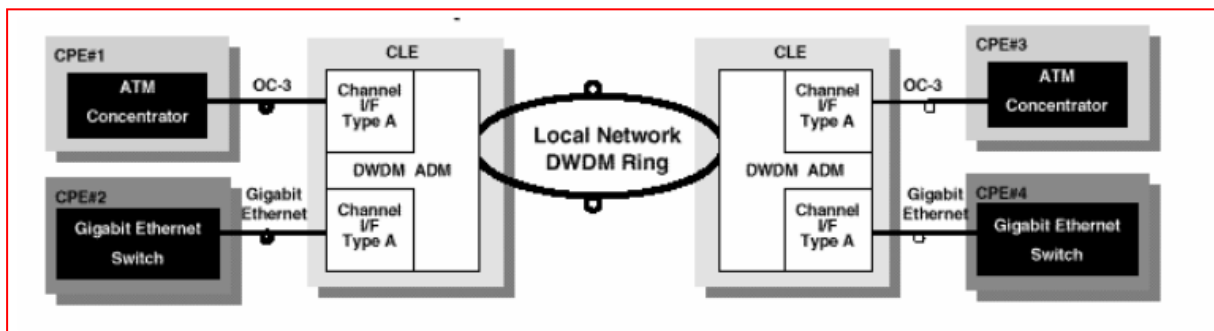


Figure 4.11 Réseau ATM et Giga Ethernet sur un anneau DWDM [28]

Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

5.1 Le concept cellulaire

Le principe de système cellulaire est de diviser la région couverte en de petites zones, appelées cellules. Dans chaque cellule, la station de base BTS a un certain rayon d'action, d'au maximum 36 Km, elle ne pourra communiquer qu'avec les mobiles présents dans cette cellule [33, 34]. La Figure 5.1 représente le principe des cellules.

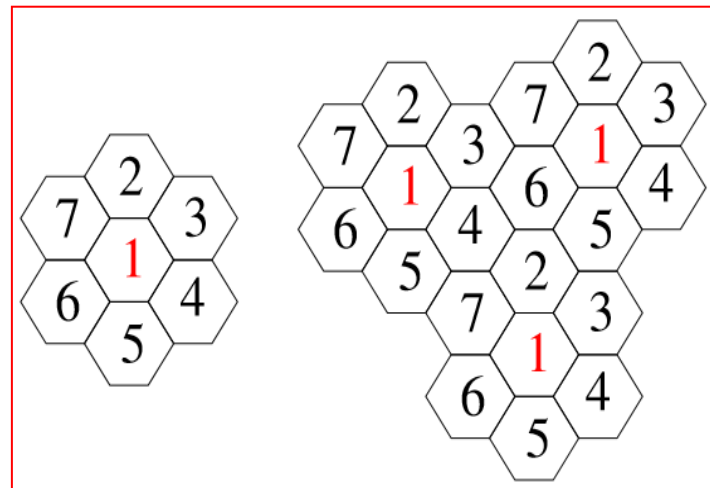


Figure 5.1 Le principe des cellules [34]

Les cellules sont modélisées par des hexagones. La conception d'un réseau cellulaire est basée sur les aspects suivants [33, 35]:

- 1-La topographie (bâtiments, montagnes, ...)
- 2-La densité de la population pour établir la taille de cellule (entre 0.5 et 35 km).
- 3-Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser deux fréquences similaires afin d'éviter les interférences.

Dans un réseau cellulaire, la liaison radio entre un mobile et une BTS n'est pas attribuée définitivement pour toute la communication. Le handover ou Itinérance, représente la commutation d'un appel en cours vers une autre cellule, c'est-à-dire la capacité pour un mobile de changer de cellule sans interruption de la conversation.

Le roaming c'est une vaste mobilité qui permet à l'abonné d'un réseau téléphonique d'utiliser son mobile dans une autre que la zone d'origine de l'opérateur téléphonique. Il est donc généralement employé à l'étranger grâce à des accords entre les opérateurs [33, 36].

Il existe (05) cinq types de handover, comme illustre la figure suivante [36]:

- Les handovers internes (1-intra cellule, 2- intra BSC).
- Les handover externes (3-intra MSC, 4- inter MSC).
- Le roaming (5-handover inter réseau).

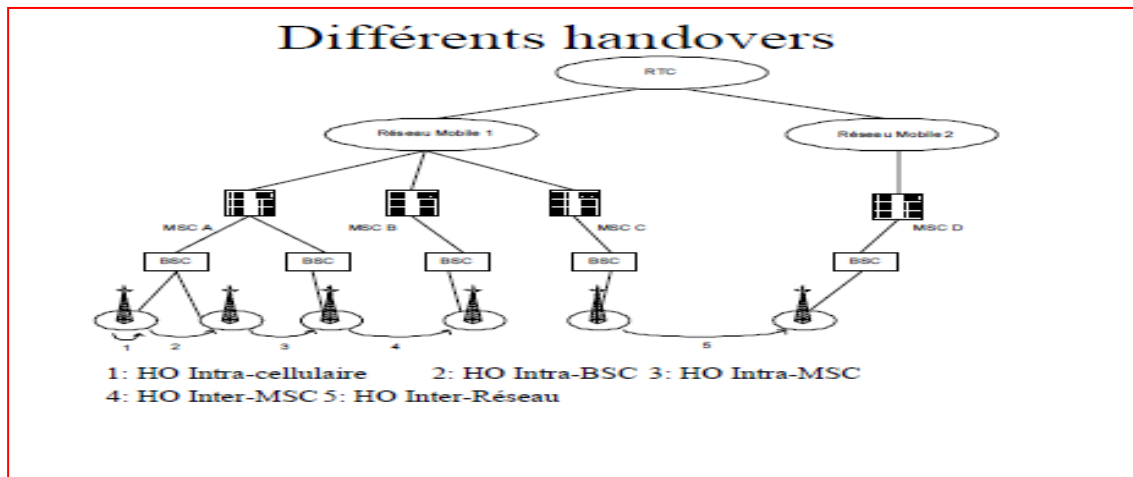


Figure 5.2 Les différents types de handover [36]

5.2 Architecture GSM

L'architecture d'un réseau GSM peut se découper en trois sous-ensembles [33, 34, 37]:

- Le sous-système radio BSS** (Base Station Subsystem), qui assure les transmissions entre les stations mobiles (les téléphones GSM) et la station de base et gère la ressource radio par le contrôleur de station de base.
- Le sous-système réseau NSS** (Network Subsystem) ou d'acheminement, est constitué de l'ensemble des fonctions nécessaires à l'établissement des appels et à la mobilité.
- Le sous-système d'exploitation OMC** (Operation and maintenance Center Radio) et de maintenance, qui permet à l'opérateur de gérer son réseau.

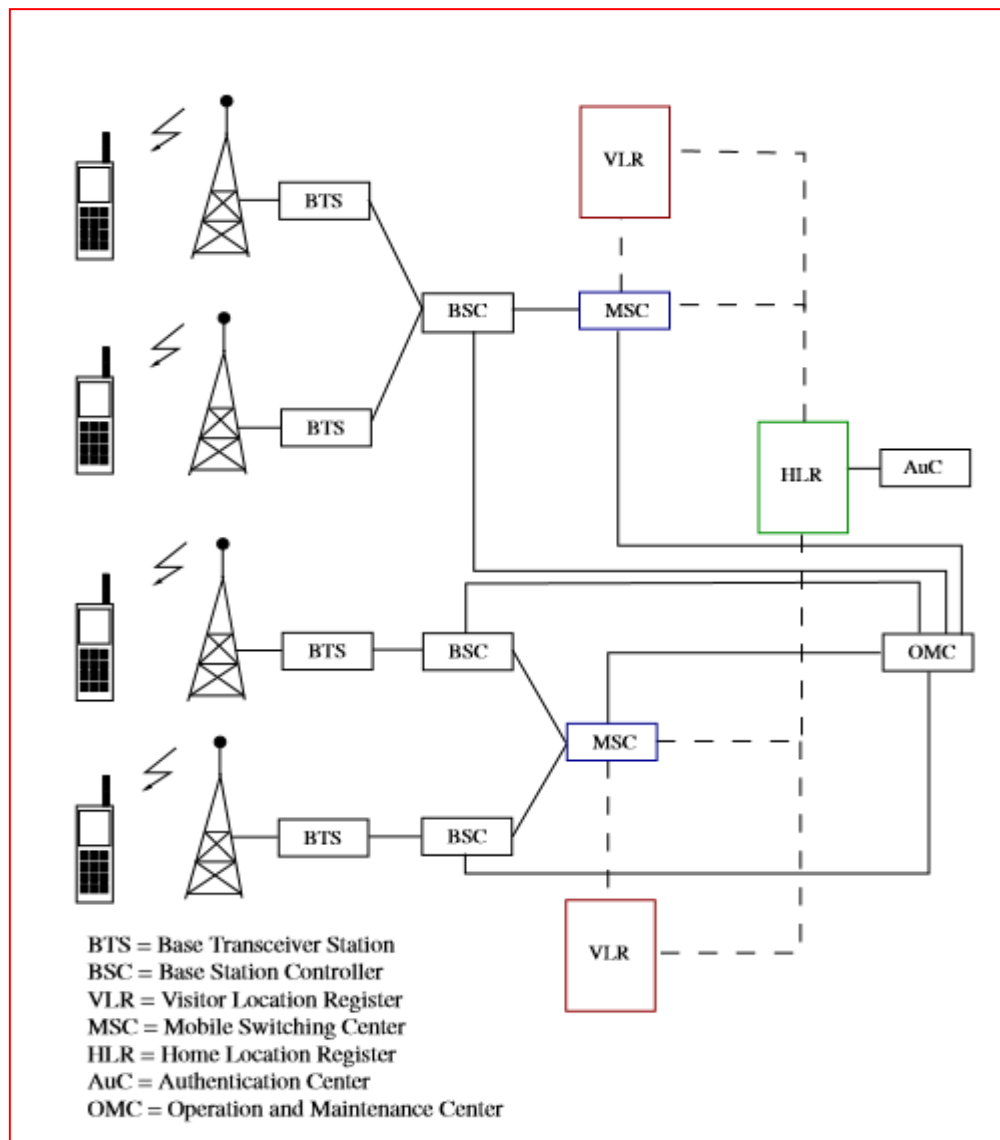


Figure 5.3 Architecture du réseau GSM [34]

5.2.1 Le sous-système radio BSS (Base Station Subsystem)

Le sous-système radio: gère la transmission radio des abonnés par voie hertzienne. Il est constitué de plusieurs mobiles et de deux éléments : la station de base (BTS) et le contrôleur de stations (BSC). (Voir Figure 5.3) [33, 37].

- **Le téléphone mobile GSM** ou la station mobile est définie par deux identités [37]:
 - Le numéro d'équipement, **IMEI** (International Mobile Equipment Identity) enregistré dans la mémoire du téléphone mobile lors de sa fabrication.
 - Le numéro d'abonné **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) trouvé dans la carte SIM (Subscriber Identity Module) de l'abonné.
- **La station de base BTS [33]**
 La BTS définie comme un ensemble d'émetteurs/récepteurs. Elle gère les difficultés liées à la transmission radio (modulation, démodulation, codage ...) et réalise des mesures radio afin de vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement, par l'évaluation de la

Chapitre 5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

distance et de la puissance du signal émis par le mobile de l'abonné. Le placement et le type des BTS définissent la forme des cellules. Il existe trois types de station de base:

Les BTS rayonnantes pour couvrir les sites à faible densité d'abonnés.

Les BTS ciblées pour les zones à forte densité d'abonnés.

Les micros BTS couvrent des sites à forte densité d'abonnés.

- **Le contrôleur de stations de base BSC [34]**

Il gère les ressources radio pour la zone de couverture par plusieurs BTS qui y sont connectées et gère les transferts inter-cellules des utilisateurs dans sa zone de couverture.

5.2.2 Le sous-système réseau NSS (Network Switching Subsystem): Est constitué de commutateurs et de base de données utilisateurs:

- **Le centre de commutation mobile MSC :** Il assure la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau RTC, Les MSC jouent le rôle de passerelle, GMSC (Gateway Mobile Switching Centre), pour assurer une inter opérabilité entre réseaux d'opérateurs [33, 34].
- **L'enregistreur de localisation nominale HLR :** Il s'agit d'une base de données, qui gère toutes les informations relatives aux abonnés: le type d'abonnement, la clé d'authentification, les services souscrits, le numéro de l'abonné, etc. Il gère également la position courante de l'abonné dans la zone. Il y a une HLR par opérateur [33, 34].
- **L'enregistreur de localisation des visiteurs VLR :** c'est un deuxième type de base de données. Elle stocke les informations de l'abonné liées à sa mobilité, comme sa zone de localisation. Le VLR contient également d'autres informations générales sur les usagers, ainsi que le numéro permettant de joindre le portatif sur le réseau. Ce VLR est généralement associé à un MSC ; on parle donc l'ensemble MSC/VLR [33, 38].
- **Le centre d'authentification AuC :** il est utilisé pour le chiffrement (le cryptage) des transmissions radio des communications et de l'identification des abonnés. Sa base de données contient le numéro réseau de l'abonné et les paramètres de calcul du coût des communications [33, 34].
- **L'enregistreur d'identité des équipements (EIR) :** Cette base de données contient les numéros d'identification des mobiles IMEI. Si le terminal n'est pas homologué, ou s'il est signalé comme volé, l'opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau [33].

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

5.2.3 Le Sous Système Exploitation l'OMC (Operation and Maintenance Center) et le NMC (Network Management Center)

Le NMC opère de manière centralisée. L'OMC effectue une supervision locale des équipements. Parmi les principales activités de gestion, citons [34]:

- La gestion administrative (la déclaration des abonnés et des terminaux...).
- La gestion commerciale (la facturation...)
- La gestion technique (la configuration des équipements et des logiciels du réseau, l'observation de trafic et détection des surcharges, la remontée des alarmes,...).

5.3 Architecture GPRS [39]

Parmi les avantages de GPRS comparé au GSM pour les services de données, figurent [39]:

- **Des débits élevés** : Les débits obtenus dans le sens descendant et dans le sens montant sont alors de 50 kbit/s et 20 kbits/s respectivement.
- **Une connexion permanente.**
- **Une facturation au volume ou au contenu**: GPRS permet de facturer les services en fonction du volume (nombre de paquets échangés) ou en fonction du contenu (e.g., par image envoyée).
- **Un support pour de nouveaux services** : Parmi les applications envisageables grâce au réseau GPRS, figurent :
 - La navigation sur Internet à partir d'un portable.
 - L'envoi et la réception de photos ou cartes postales.
 - L'envoi et la réception de séquences vidéo.
 - L'usage des groupes de discussions (chat).
 - L'accès au réseau Intranet de son entreprise.
 - Le partage des données.

5.3.1 Entités et Interfaces [39, 40]

- **SGSN** (Service GPRS Support Node) : se charge dans son aire de service des transmissions de données entre les stations mobiles et le réseau mobile. Il est relié par des liens Frame Relay au sous-système radio GSM. Il est connecté à plusieurs BSC et présent dans le site d'un MSC.

-Le SGSN fait pour:

- Authentifie les stations mobiles GPRS
- Prend en charge l'enregistrement des stations mobile au réseau GPRS (attachement)
- Prend en charge la gestion de la mobilité des stations mobiles. En effet, une station mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de zone de routage.
 - Etablit, maintient et libère les contextes, qui correspondent à des sessions de données permettant à la station mobile d'émettre et de recevoir des données.
- Relais les paquets de données de la station mobile au réseau externe ou du réseau à la station mobile
 - Collecte les données de taxation de l'interface air
- S'interface à d'autres nœuds (HLR, MSC, BSC, SMSC, GGSN, Charging Gateway).

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

-GGSN (Gateway GPRS Support Node) : joue le rôle d'interface à des réseaux de données externes (e.g., X.25, IP). Elle décapsule des paquets GPRS provenant du SGSN les paquets de données émis par le mobile et les envoie au réseau externe correspondant. Egalement, le GGSN permet d'acheminer les paquets provenant des réseaux de données externes vers le SGSN du mobile destinataire. Il est généralement présent dans le site d'un MSC. Il existe un GGSN ou un nombre faible de GGSN par opérateur

-Le GGSN fait pour :

- Joue le rôle d'interface aux réseaux externes de type IP ou X.25 même si en pratique seule l'interface vers des réseaux IP est mise en œuvre.
- Ressemble à un routeur. D'ailleurs dans de nombreuses implantations, il s'agit d'un routeur IP avec des fonctionnalités supplémentaires.
- Relais les paquets aux stations mobiles à travers un SGSN.
- Route les paquets émis par la station mobile à la destination appropriée.
- Filtre le trafic usager.
- Collecte les données de taxation associées à l'usage des ressources entre SGSN et GGSN.
- S'interface à d'autres nœuds (SGSN, HLR, Charging Gateway).

Les termes SGSN et GGSN identifient des entités fonctionnelles qui peuvent être implantées dans un même équipement ou dans des équipements distincts (comme pour les entités fonctionnelles MSC et GMSC).

- **PCU** l'unité de contrôle de paquets (PCU, Packet Control Unit) par une mise à jour matérielle et logicielle dans les BSCs. Il est pour déployer le GPRS dans les réseaux d'accès, on réutilise les infrastructures et les systèmes existants. Il faut leur rajouter une entité responsable du partage des ressources et de la retransmission des données erronées.

-Backbones GPRS : L'ensemble des entités SGSN, GGSN, des routeurs IP éventuels reliant les SGSN et GGSN et les liaisons entre équipements est appelé réseau fédérateur GPRS (GPRS backbone).

-**CGF :** La passerelle de taxation (CGF, Charging Gateway Function) permet le transfert des informations de taxation du SGSN et du GGSN au système de facturation (BS, Billing System). L'entité CGF peut être implantée de façon centralisée ou de manière distribuée en étant intégrée aux nœuds SGSN et GGSN. L'interface entre les GSNs et l'entité CGF est supportée par le protocole GTP'.

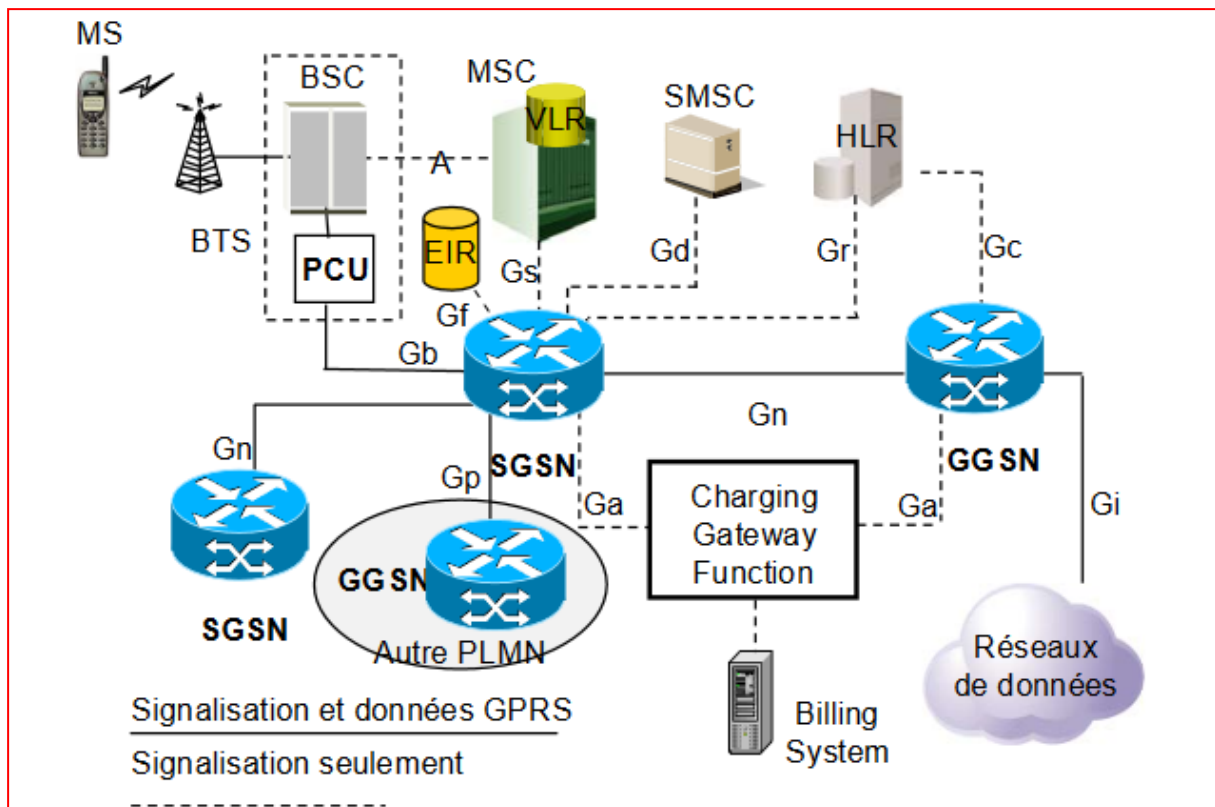


Figure 5.4 Architecture du réseau GSM [39]

-Les interfaces

La norme GPRS définit un certain nombre d'interfaces pour assurer le fonctionnement entre SGSN et GGSN et l'interfonctionnement avec les entités GSM (Figure 5.4) :

- Gb : L'interface Gs connecte le SGSN et le BSS(Base Station Subsystem). Il s'agit d'un service de transport Frame Relay sur lequel s'appuient les protocoles de signalisation radio GPRS.
- Gr: L'interface Gr est une interface MAP / SS7 entre le SGSN et le HLR. Elle est utilisée lorsque le SGSN contacte le HLR afin d'obtenir des données de souscription d'utilisateurs GPRS.
- Gd: L'interface Gd est une interface MAP / SS7 entre le SGSN et le SMSC afin d'assurer la livraison de SMS d'un utilisateur GPRS.
- Gs : L'interface Gs est une interface BSSAP+ / SS7 entre le SGSN et le MSC/VLR permettant l'attachement ou la mise à jour de localisation combinée GSM et GPRS.
- Gf : L'interface Gf existe entre le SGSN et l'EIR. Elle permet de vérifier l'authenticité de l'équipement mobile auprès de l'EIR. Elle est supportée par le protocole MAP/SS7.
- Gn : L'Interface Gn est l'interface de base dans le backbone GPRS et est utilisée entre les GSNs. Le protocole utilisé sur cette interface est GTP (GPRS Tunneling Protocol) qui s'appuie sur un transport TCP/IP ou UDP/IP. Il s'agit d'un protocole de contrôle (pour l'établissement, le maintien et la libération de tunnels entre GSNs), et de transfert des données d'utilisateur.
- Gc : L'interface Gc est une interface MAP / SS7 entre le GGSN et le HLR dans le cas d'une activation d'un contexte PDP initié par le GGSN. Le GGSN utilise cette interface pour interroger le HLR et identifier ainsi l'adresse IP du SGSN auquel est rattachée la station mobile.

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

- Gp : L'interface Gp connecte un GSN à d'autres GSNs de différents PLMNs. Elle sert notamment pour le transfert des données concernant un usager GPRS en roaming international. Le protocole utilisé sur cette interface est le protocole GTP.
- Gi : L'interface Gi connecte le PLMN avec des réseaux de données externes. Dans le standard GPRS, les interfaces aux réseaux IP (Ipv4 et Ipv6) et X.25 sont supportées. En pratique, il s'agit principalement d'une interface vers des réseaux externes IP.
- Ga : L'interface Ga connecte un SGSN ou un GGSN à une entité CGF. Elle sert pour le transfert de tickets de taxation des nœuds GSN à l'entité CGF. Le protocole utilisé sur cette interface est GTP' en utilisant un transport TCP/IP ou UDP/IP.

5.4 Le système UMTS

Le système mobile universel de télécommunications UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est un système de troisième génération (3G) développé par UIT dans la famille IMT2000 [33, 43].

L'ETSI (European Telecommunication Standards Institute) est l'organisme de normalisation de l'interface radio UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Acces Network) de l'UMTS, dont les travaux sont repris par la 3GPP (Third Generation Group Project Partnerchip) (en 1998, le 3 GPP regroupe le Japon, l'Europe, les USA, la Corée et la Chine) [33, 44].

L'objectif principal de l'UMTS est d'intégrer tous les réseaux de 2G du monde entier en un seul réseau, d'améliorer la vitesse de transmission (haut débit pour les données, Internet), d'augmenter le nombre d'abonnés par unité de surface, de développer une meilleure couverture radio, d'améliorer la convergence des téléphones fixes et mobiles [33, 43, 45].

5.4.1 L'architecture de l'UMTS

-Le réseau d'accès UTRAN: il contient des stations de base (Node B) associées à un contrôleur RNC (Radio Network Controller). (Ici la Node B et le RNC sont respectivement équivalent de la BTS et le BSC dans le réseau GSM), (voir la Figure 5.5).

-La Node B: elle effectue les procédures de la couche physique : la modulation, étalement de spectre, Contrôle de puissance en boucle interne, adaptation de débit, supporte les modes UTRA/FDD et UTRA/TDD [44].

-Le RNC : il Contrôle l'utilisation et l'intégrité des ressources Radio (admission, charge,...), gestion de la mobilité (handover), point d'accès pour le mobile vers le réseau cœur, allocation des codes d'étalement, contrôle de puissance en boucle externe. Il existe deux types de RNC: Le Serving RNC (contrôle et exécute le handover) et le Drift RNC (le routage des données) [44].

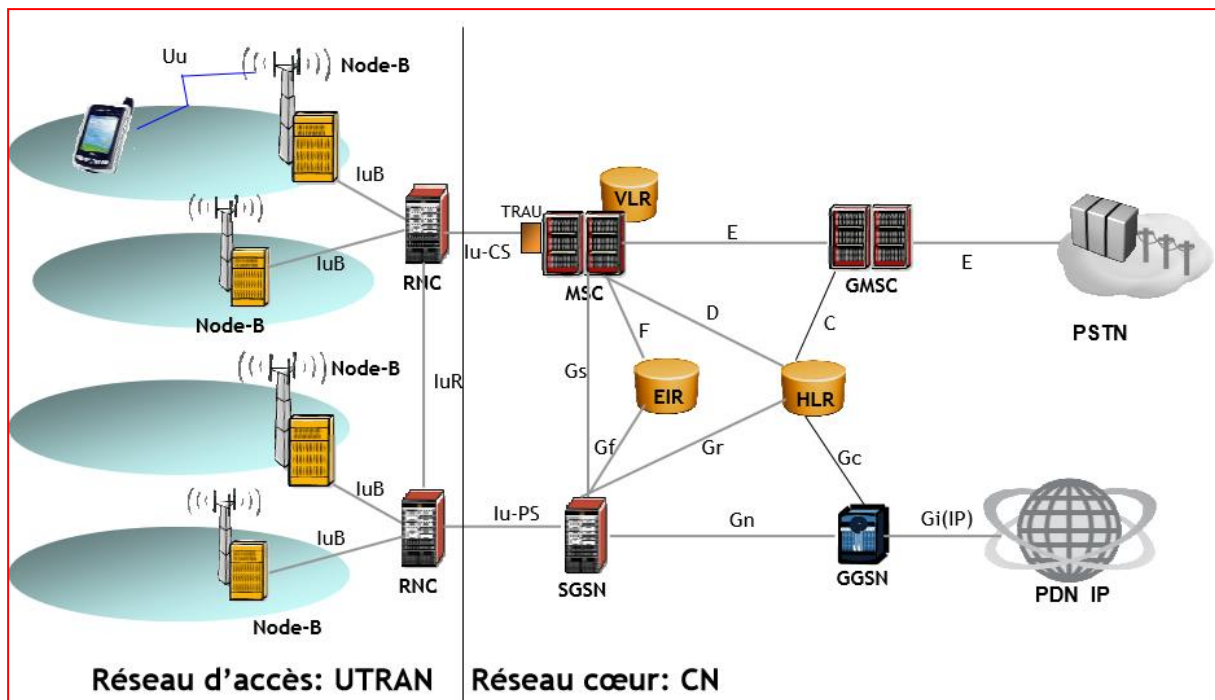


Figure 5.5 L'architecture de l'UMTS [43]

- La carte USIM (UMTS Subscriber Identity Module) : elle enregistre les identités de l'abonné et assure la sécurité du terminal et la confidentialité des communications [45]. Les terminaux s'adapteront sur différents réseaux [44]: Dans une zone rurale (pico cellule); dans un bâtiment (micro cellule); dans des espaces urbains (macro cellule); avec un satellite (voir Figure 5.6).

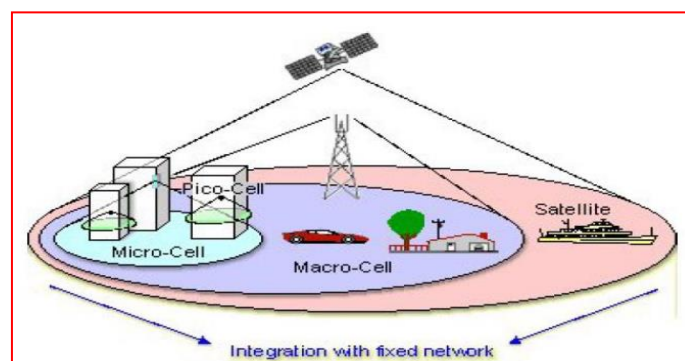


Figure 5.6: Les différentes cellules pour la norme UMTS [44]

-L'interface **Iur**: c'est une interface entre deux RNC. Elle permet en effet au Serving RNC de demander au Drift RNC d'ajouter ou de supprimer un lien radio. L'interface **Iub**, reliant le RNC au Node B, est comparable à l'interface Abis en GSM, l'interface **Iu** relie l'UTRAN au réseau cœur [44, 45].

-Le réseau cœur : il se décompose en deux parties comme illustre la Figure 5.7 : 1-Le domaine circuit permettra d'administrer les services temps réels destinés aux conversations téléphoniques. 2-Le domaine paquet il permet de gérer les services non on temps réels dédiés à la navigation sur l'internet [44].

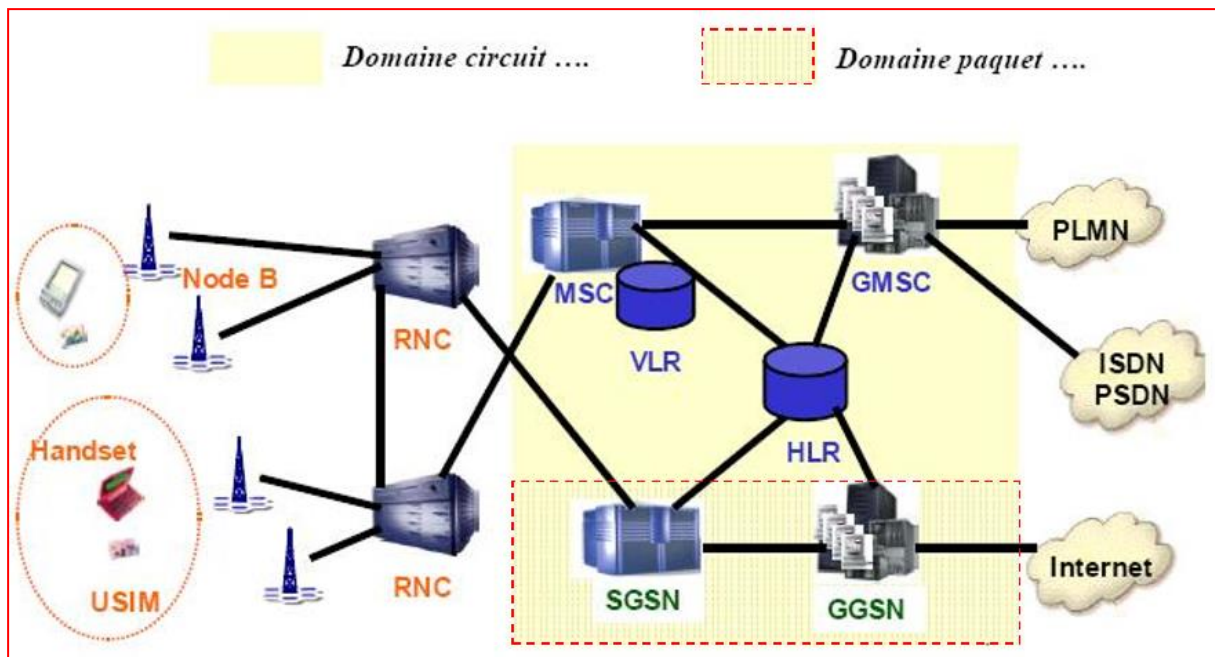


Figure 5.7 Le réseau cœur [44]

5.4.2 Les canaux

Il existe trois types de canaux [43, 44] (voir la Figure 5.8):

1- Les canaux logiques (de contrôle et de trafic):

-Canaux logiques de contrôle: utilisés pour le transfert des informations dans le plan de signalisation

BCCH « Broadcast Control CHannel » : diffusion permanente d'informations système

PCCH « Paging Control CHannel » : envoi de radiomessagerie aux mobiles

CCCH « Common Control CHannel » : envoi ou réception d'informations de contrôle à des mobiles non encore connectés au réseau

DCCH « dedicated control channel »: envoi ou réception d'informations de contrôle à des mobiles connectés au réseau - transmission de la quasi totalité de la signalisation.

-Canaux logiques de trafic : utilisés pour le transfert des informations dans le plan usager

DTCH « Dedicated Traffic CHannel » : échange de données usager avec un mobile connecté au réseau.

CTCH « Common Traffic CHannel » : envoi de données usager en mode diffusion.

2-Canaux de transport : sont le point d'accès aux services de la couche physique.

Chapitre 5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

-Les canaux de transport communs : utilisés pour le transfert d'information d'un ou de plusieurs UE (User Equipment) : - BCH « Broadcast CHannel », PCH« Paging CHannel », RACH« Random Access CHannel » FACH« Forward Access CHannel »: canal d'accès avancé, DSCH« Downlink Shared CHannel ».

-Les canaux de transport dédiés DCH « Dedicated CHannel »: Qui sont des canaux point à point dédiés à un seul UE et qui transportent des données de contrôle ou de trafic.

-Les canaux de transport partagés utilisés pour le transport des données de contrôle ou de trafic uniquement en voie descendante et partagés dynamiquement par différents utilisateurs.

3-Les canaux physiques qui sont les ressources utilisées sur l'interface radio pour la transmission des informations.

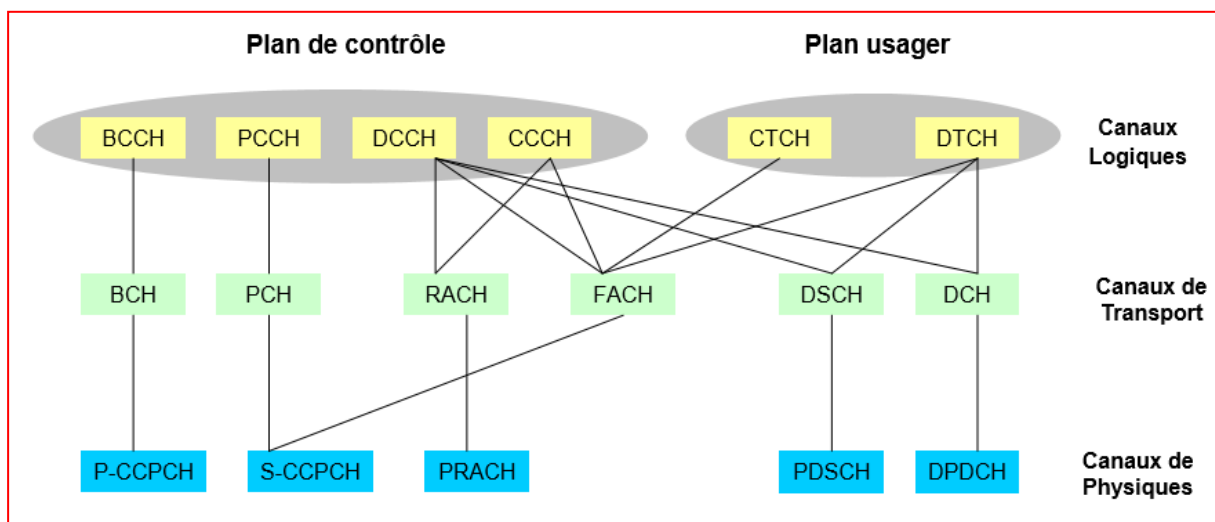


Figure 5.8 Les canaux [43]

Avant d'entamer l'évolution de la 3G (3G+), le Tableau 5.1 résume les caractéristiques de différents standards:

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

Standard	Génération	Bande de fréquence	Débit	
GSM	2G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de faible volume.	9,6 kpbs	9,6 kpbs
GPRS	2.5G	Permet le transfert de voix ou de données numériques de volume modéré.	21,4-171,2 kpbs	48 kpbs
EDGE	2.75G	Permet le transfert simultané de voix et de données numériques.	43,2-345,6 kbps	171 kbps
UMTS	3G	Permet le transfert simultané de voix et de données numériques à haut débit.	0.144-2 Mbps	384 Kbps

Tableau 5.1 Caractéristiques de différents standards [33]

5.4.3 L'Evolution de l'UMTS (3.5 G)

L'UMTS connaît deux évolutions majeures [43, 46, 47]:

- Le HSPA (High Speed Packet Access);
- Le HSPA+ (High Speed Packet Access+).

Neuf Releases sont définies par le 3GPP entre 1998 et 2011. Une Release correspond à un ensemble de nouvelles modifications des spécifications approuvées par le 3GPP dans une période de temps donnée et un représente grand impact dans l'évolution des systèmes [33].

La figure suivante illustre les Releases du 3GPP.

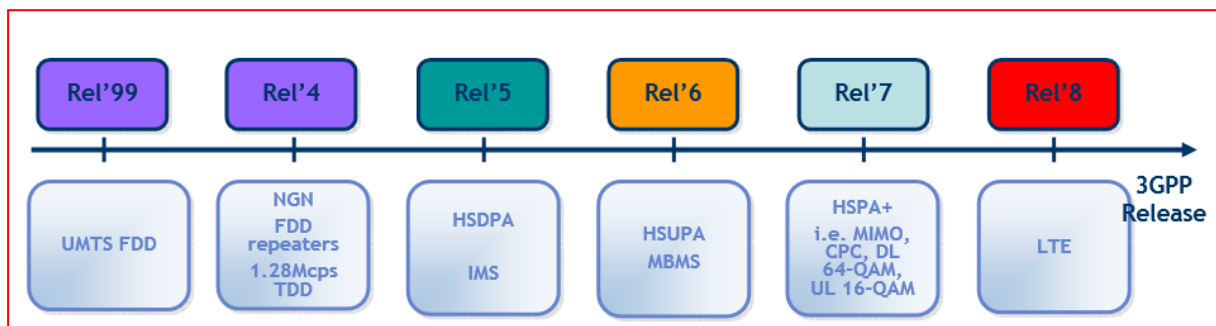


Figure 5.9 Les Releases du 3GPP [43]

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

5.4.4 Les évolutions HSPA [46, 47]

Les évolutions HSPA, le HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) pour la voie descendante et le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) pour la voie montante, ont été définies par le 3GPP en Release 5 (2002) et Release 6 (2005) afin d'augmenter les débits possibles et de réduire la latence du système.

La latence désigne la mesure du temps nécessaire de réponse du système pour établir la demande de l'utilisateur.

La nouveauté principale du HSPA est le passage d'une commutation circuit sur l'interface radio pendant la durée de l'appel à une commutation par paquets, où la station de base décide dynamiquement du partage des ressources entre les utilisateurs actifs. Les modulations 16QAM (16 Quadrature Amplitude Modulation) et QPSK sont introduites respectivement pour la voie descendante et la voie montante. Ces évolutions fournissent aux utilisateurs des débits maximaux de 14,4 Mbit/s en voie descendante et de 5,8 Mbit/s en voie montante, ainsi qu'une latence réduite.

5.4.5 Les évolutions HSPA+ [46, 47]

L'Objectif principal de l'évolution HSPA+ est d'améliorer les débits fournis aux utilisateurs, la capacité du système et la gestion des utilisateurs always-on. Cette évolution a été normalisée par le 3GPP au cours des Releases 7 (2007) et 8 (2008). Les objectifs de cette technologie sont rendus possibles par l'introduction de nouvelles techniques, la modulation 64QAM en voie descendante, la modulation 16QAM en voie montante et le MIMO (Multiple Input Multiple Output) en voie descendante. Le HSPA+ intègre une option d'architecture qui réduit la latence du système via la suppression du contrôleur de stations de base pour les services de données.

Le Tableau 5.2 donne la comparaison entre les technologies des Releases du 3GPP.

	GSM/GPRS/EDGE	UMTS Release 99	HSPA	HSPA+ Release 8
Débit maximal UL	118 Kbits/s	384 Kbit/s	5.8 Mbit/s	11.5 Mbit/s
Débit maximal DL	236 Kbits/s	384 Kbits/s	14.4 Mbit/s	42 Mbit/s
Latence	300 ms	250 ms	70 ms	30 ms
Largeur de canal	200 KHz	5MHz	5MHz	5 MHz avec possibilité de deux canaux simultanés
Technique d'accès multiples	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA/TDMA	CDMA/TDMA
Modulation DL Modulation UL	GMSK 8PSK	QPSK BPSK	QPSK, 16QAM BPSK, QPSK	QPSK, 16QAM, 64QAM BPSK, QPSK, 16QAM
Bandes de fréquences usuelles (MHz)	900/1800	900/2100	900/2100	900/2100

Tableau 5.2 Comparaison des technologies des Releases du 3 GPP [46]

5.5 La norme LTE [43, 45, 46, 47, 48]

La norme LTE (Long Term Evolution of 3G) a été normalisée par le 3GPP à partir de la release 8, en réalité cette norme dite 3.99G. Pour les opérateurs, cette norme implique de changer le cœur des réseaux, cette modification a été réalisée dans la 4G.

L'objectif majeur du LTE est d'améliorer le support des services de données via une capacité accrue, une augmentation des débits, une continuité de la compétitivité du système 3G vis-à-vis des technologies concurrentes WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), une réduction de la latence, une réduction de la complexité, une souplesse d'utilisation des bandes de fréquences existantes et nouvelles, une consommation raisonnable de l'énergie du terminal.

LTE-Advanced est une norme de la 4 G définie par 3GPP (la fin 2011) qui fait partie des technologies réseaux retenues par UIT, il représente la vraie 4G. C'est une évolution de la norme LTE, il est capable de fournir des débits supérieurs à 1 Gb/s à l'arrêt et à plus de 100 Mb/s pour un mobile en mouvement (à comparer à 20 MHz maximum en LTE) et des performances radios accrues grâce aux évolutions de la technologie MIMO (8 antennes en émission x8 antennes en réception).

5.5.1 Architecture du réseau LTE/EPS [49]

L'architecture du réseau EPS est présentée dans la Figure 5.10:

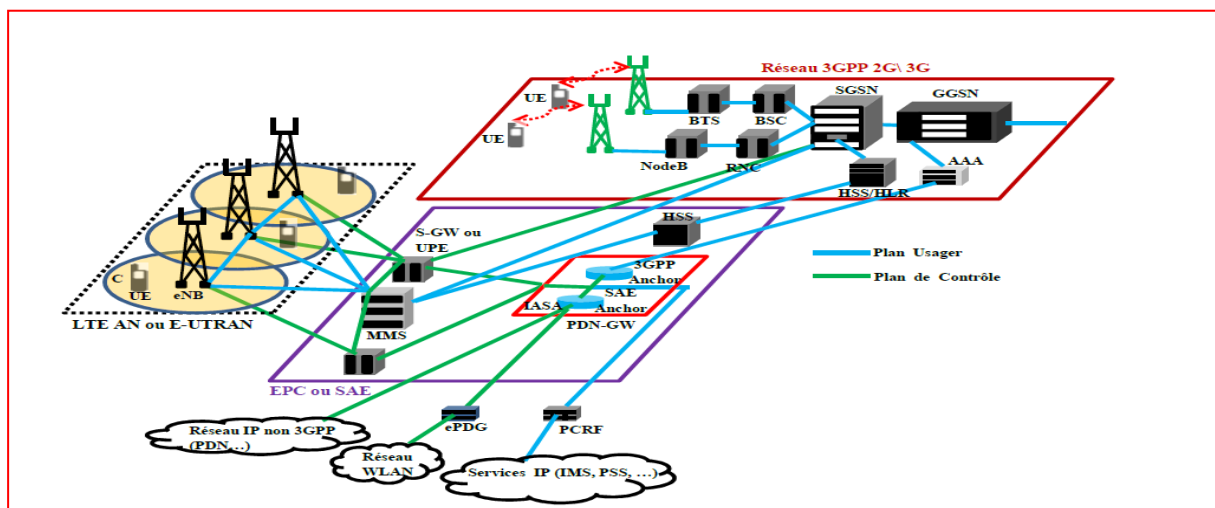


Figure 5.10 Architecture de l'EPS [49]

L'EPS est composée de plusieurs entités:

- UE: équipement utilisateur (abonné).
- eNodeB: responsable de la partie radio avec l'UE.

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

-MME (Mobility Management Entity): il gère la mobilité, l'authentification des utilisateurs, le Handover inter-domaines et inter-réseaux et la signalisation. Elle est responsable du Paging lorsque l'utilisateur est en état inactif.

-Serving GW (Serving Gateway) ou UPE (User Plane Entity): Elle est responsable du routage des paquets et elle joue le rôle d'une passerelle lors du Handover inter-domaines et inter-réseaux.

-PDN GW(Packet Data Network Gateway) ou IASA (Inter-Access System Anchor): Il est responsable de l'attribution des adresses IP aux utilisateurs. Il assure la mobilité entre le système 3GPP et les systèmes non 3GPP «WIFI (Wireless Fidelity), WIMAX etc. ».

-HSS (Home Subscriber Server): c'est une base de données, elle contient les informations de souscriptions pour les réseaux GSM, GPRS, 3G et LTE.

-PCRF (Policy & Charging Rules Function): donner les règles de la taxation.

-EPDG (Evolved Packet Data Gateway): c'est un élément réseau qui admet l'interopérabilité avec le réseau WLAN (Wireless Local Area Network), il assure les fonctions de routage des paquets (Tunneling, d'authentification, d'autorisation et d'encapsulation/ décapsulation des paquets).

5.5.2 Les technologies de téléphonie mobile utilisées en Europe [50]

	Acronyme	Description	Version 3GPP	Intitulé	Débit indicatif (download) en bits/s (théorique / pratique)
1G	Radiocom 2000 NMT			Radiocom 2000 (analogique) de France Télécom, NMT - Nordic Mobile Telephone - (analogique) déployé par SFR, Natel A, B, puis C de Télécom PTT en Suisse	analogique
2G	GSM	Échanges de type voix uniquement		Global System for Mobile Communication	9,05 kbps
2.5G	GPRS	Échange de données ou (exclusif) voix	97	Global Packet Radio Service	171,2 kbps / 50 kbps / 17,9 kbps
2.75G	EDGE	Basé sur réseau GPRS existant	98	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	384 kbps / 64 kbps
3G	UMTS	Voix + données	99	Universal Mobile Telecommunications System	1,9 Mbps dans des conditions idéales / 144 kbps zone rurale, 384 kbps zone urbaine
3.5G ou 3G+ ou HSPA	HSPA	Évolution de l'UMTS	5 et 6	High Speed Packet Access (HSDPA/HSUPA)	14,4 Mbps / 3,6 Mbps
3.75G ou 3G++ ou HSPA+	HSPA+	Évolution de l'UMTS	7	High Speed Packet Access +	21 Mbps / 5 Mbps
3.75G ou	DC-	Évolution de	8	Dual-Carrier High Speed Packet	42 Mbps /

Chapitre5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

HSPA+ Dual Carrier	HSPA+	l'UMTS		Access +	10 Mbps
4G ou 3.9G	LTE WiMAX		8 et 9	Long Term Evolution Worldwide Interoperability for Microwave Access	150 Mbps / 40 Mbps
4G ou 4G+	LTE-Advanced		10 et 11	Long Term Evolution Advanced	1 Gbps à l'arrêt / -
5G	IMT-2020 /LTE - B	Génération de téléphonie mobile 5G		Long Term Evolution Advanced (LTE - B)	50 Gbps, norme en projet / - / -

Tableau 5.3 Les normes principales de téléphonie mobile utilisées en Europe [50]

5.6 Les supports et les protocoles [47][48]

5.6.1 Un Operations Support System ou un **Operational Support System** (abrégé en OSS) est l'ensemble des composants opérationnels ou les systèmes informatiques utilisés par un opérateur de télécommunications. Elle est synonyme de maintenance opérationnelle dans le domaine des télécommunications.

Le terme OSS est habituellement synonyme de systèmes de réseaux informatiques qui comprend : le réseau de télécommunications lui-même et le maintien des processus tels que la maintenance du réseau.

Ils sont utilisés dans différents services :

- le recensement
- la performance et Qualité de service
- la gestion de la sécurité
- l'inventaire
- l'installation et la configuration des composants réseau
- la gestion des erreurs réseaux
- l'exploitation.

5.6.2 Un Business Support System (abrégé. BSS) est l'ensemble des composants fonctionnels ou les activités qui définissent le métier d'un opérateur de télécommunications, et qui sont assurées par son exploitation opérationnelle (OSS). Le terme BSS ne se limite plus maintenant aux opérateurs de téléphonie mobile, fixe ou du câble, mais peut également s'appliquer aux prestataires de services dans tous les secteurs tels que les services publics.

Les cas typiques d'activités qui comptent dans le cadre BSS sont la gestion client (prise de commande, gestion des données), la gestion des données d'une commande, la facturation (billing), la tarification (rating).

5.6.3 L'HyperText Transfer Protocol, (HTTP) est un protocole de communication client-serveur développé pour le World Wide Web. HTTP est un protocole de la couche application. Il peut fonctionner sur n'importe quelle connexion fiable, dans les faits on utilise le protocole

Chapitre 5 Architecture des réseaux mobiles et services Multimédia

TCP comme couche de transport. Les clients HTTP les plus connus sont les navigateurs Web permettant à un utilisateur d'accéder à un serveur contenant les données.

L'**HyperText Markup Language (HTML)**, est le format de données conçu pour représenter les pages web.

5.6.4 Le protocole Wireless Application Protocol (WAP) est un protocole de communication apparu en France en 1999 qui permettait d'accéder à Internet à partir d'un appareil de transmission sans fil, comme un téléphone mobile ou un assistant personnel. Il redéfinit le protocole HTTP, le format de présentation HTML

5.6.5 Session Initiation protocol (SIP) est un protocole de signalisation défini par l'IETF (Internet Engineering Task Force) permettant l'établissement, la libération et la modification de sessions multimédias (RFC 3261). Il hérite de certaines fonctionnalités des protocoles http (Hyper Text Transport Protocol) utilisé pour naviguer sur le WEB, et SMTP (Simple Mail Transport Protocol) utilisé pour transmettre des messages électroniques (E-mails). SIP s'appuie sur un modèle transactionnel client/serveur comme HTTP. L'adressage utilise le concept d'URL SIP (Uniform Resource Locator) qui ressemble à une adresse E-mail.

Chaque participant dans un réseau SIP est donc adressable par une URL SIP. Par ailleurs, les requêtes SIP sont acquittées par des réponses identifiées par un code numérique. D'ailleurs, la plupart des codes de réponses SIP ont été empruntés au protocole HTTP. Par exemple, lorsque le destinataire n'est pas localisé, un code de réponse «404 Not Found» est retourné. Une requête SIP est constituée de headers comme une commande SMTP. Enfin SIP comme SMTP est un protocole textuel.

SIP a été étendu afin de supporter de nombreux services tels que la présence, la messagerie instantanée (similaire au service SMS dans les réseaux mobiles), le transfert d'appel, la conférence, les services complémentaires de téléphonie, etc.

SIP a été retenu par le 3GPP pour l'architecture IMS (IP Multimedia Subsystem) comme protocole pour le contrôle de session et le contrôle de service. Il remplacera à terme les protocoles ISUP (utilisé pour le contrôle d'appel dans le Réseau Téléphonique Commuté) et INAP (utilisé pour le contrôle de service dans l'architecture Réseau Intelligent)

Le protocole SIP n'est qu'un protocole de signalisation. Une fois la session établie, les participants de la session s'échangent directement leur trafic audio/vidéo à travers le protocole RTP (Real-Time Transport Protocol).

5.6.6 L'IP Multimedia Subsystem (IMS) normalisé par l'organisme 3GPP est une architecture de réseau et de service qui permet le contrôle de sessions multimédia sur un réseau IP. Elle supporte des sessions temps réels (voix, vidéotéléphonie, conférence, IPTV), pseudo temps réel (tchat, push to talk) et non temps réel (SMS). Un seul cœur de réseau (IP + IMS) supportant des services multimédia (Services IMS) servira des usagers sur différents accès large bande (xDSL, LTE, 3G+, Câble, FTTH, etc). L'IMS intègre de plus le concept de convergence des services multimédia.

L'IMS normalise déjà un ensemble de capacités de service telles que la présence, le messaging, la conférence, les hosted enterprise services, l'IPTV, les multimedia telephony services qui correspondent aux services complémentaires de la téléphonie, la voice call continuity, etc.

Annexes

Annexes

Les figures ci-dessous représentent les modulations numériques, les systèmes d'accès, les modes TDD, FDD et le principe de l'étalement de spectre.

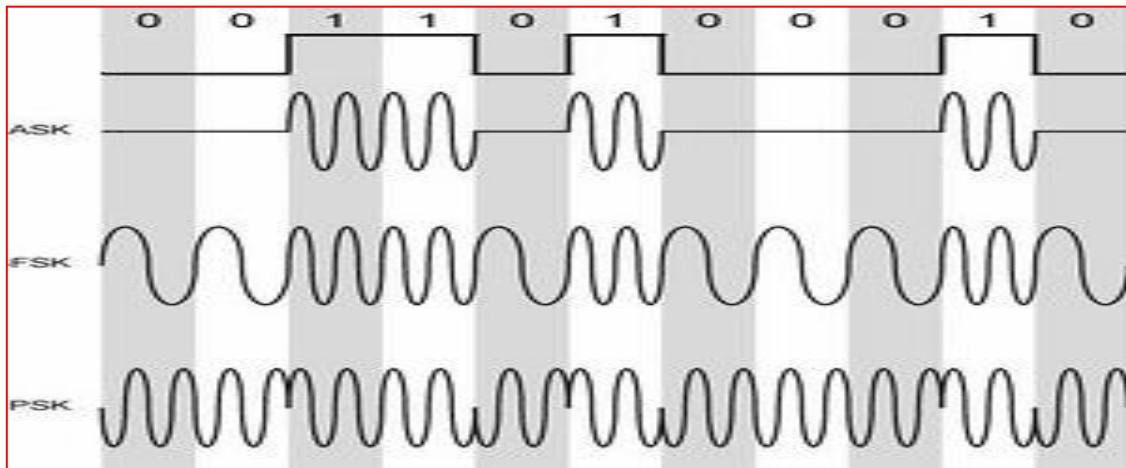


Figure A.1 Les modulations numériques [51]

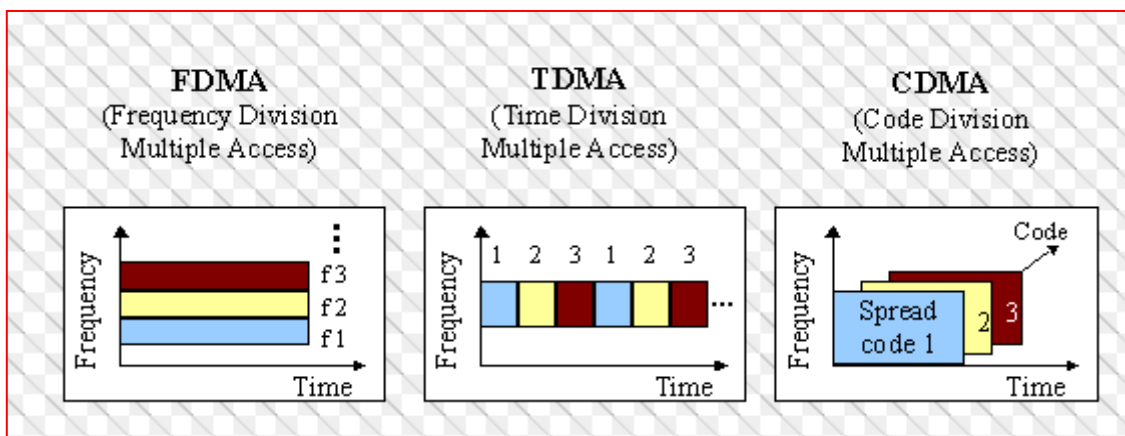


Figure A.2 Les systèmes d'accès [52]

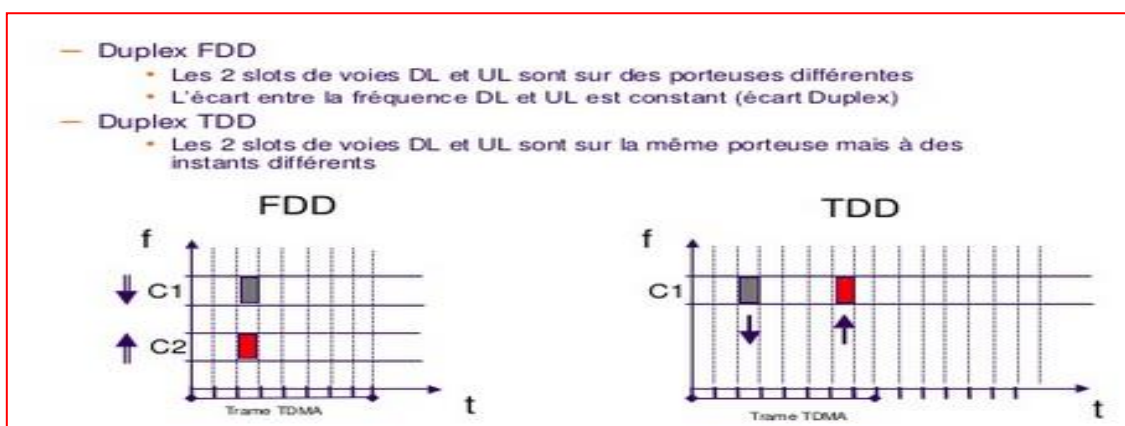


Figure A.3 Duplexages FDD et TDD [53]

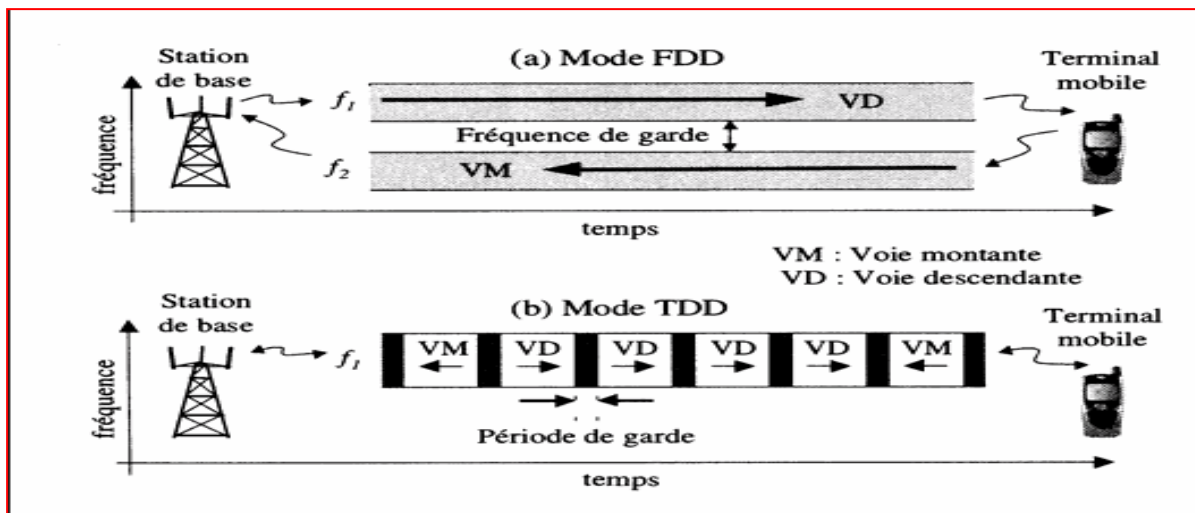


Figure A.4 Modes FDD, TDD [53]

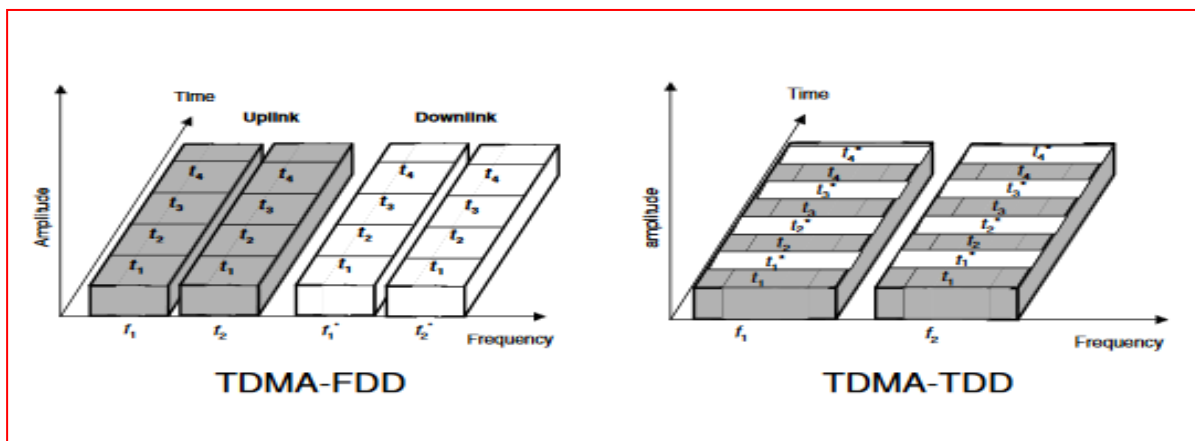


Figure A.5 Les systèmes TDMA- FDD, TDMA-TDD [54]

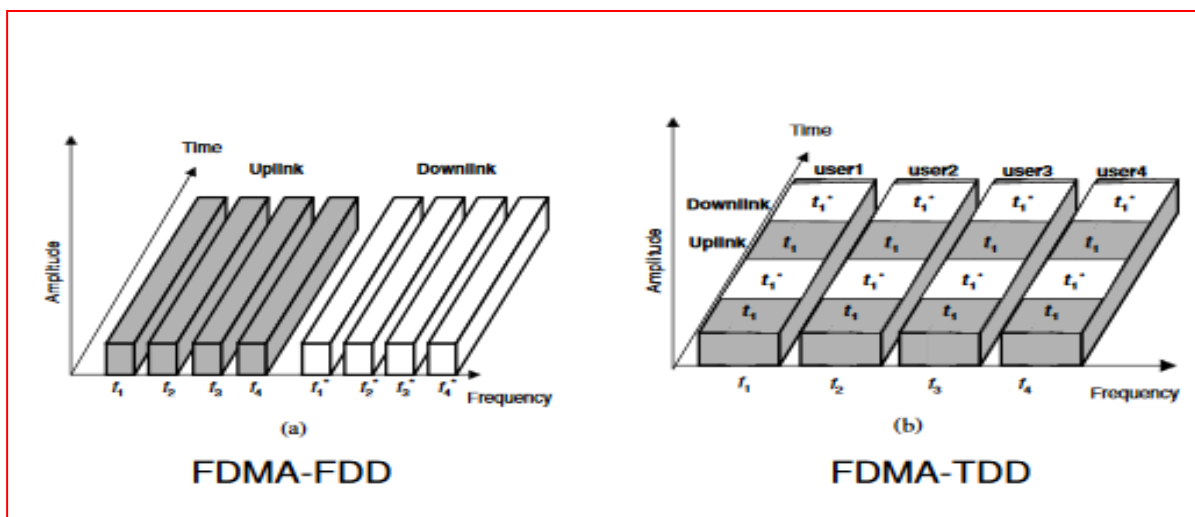


Figure A.6 Les systèmes FDMA- FDD, FDMA-TDD [54]

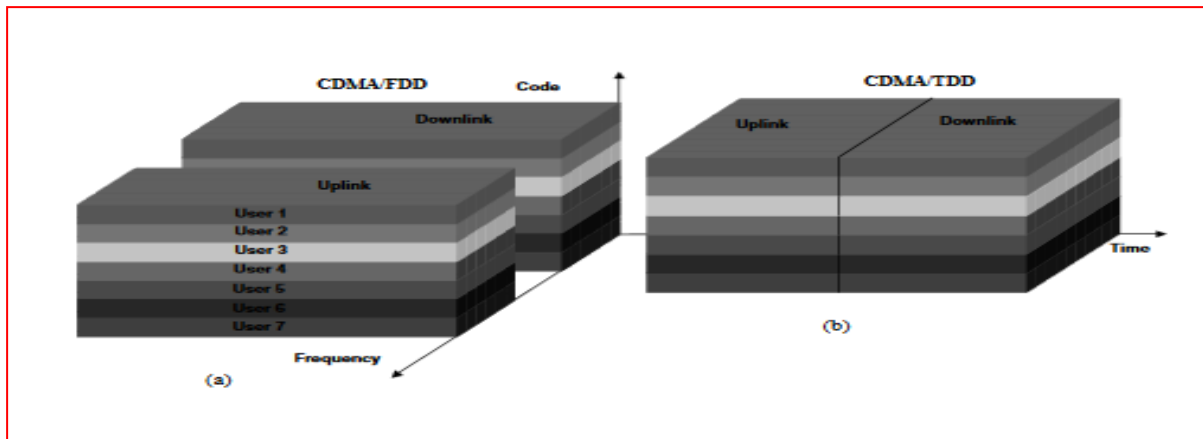


Figure A.7 Les systèmes CDMA- FDD, CDMA-TDD [55]

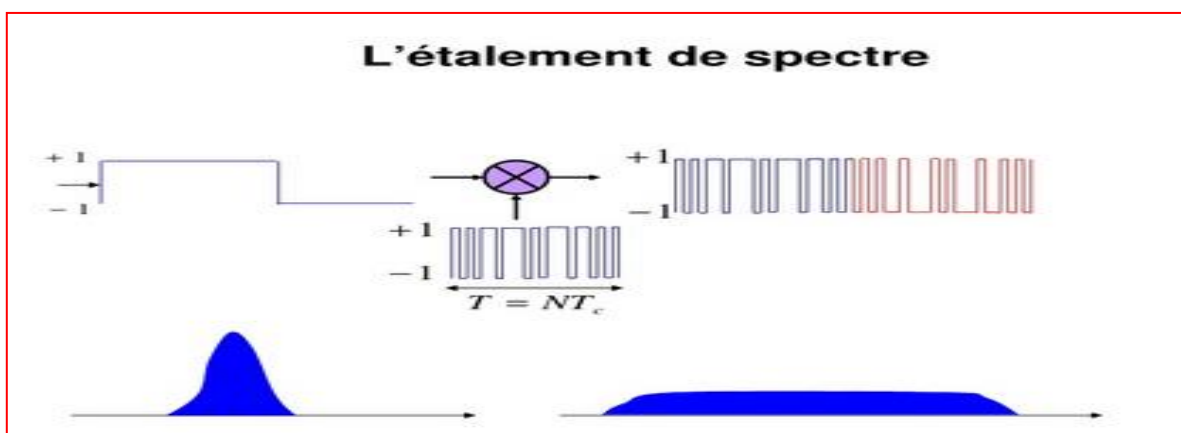


Figure A.8 L'étalement de spectre [56]

Les Releases du 3GPP [33]

Il existe neuf Releases du 3GPP entre 1998 et 2011:

- Release 97: définir le système GPRS.
- Release 99: introduire le standard UMTS.
- Release 4: ajouter la séparation des couches média et contrôle pour le réseau cœur circuit.
- Release 5: introduire l'évolution HSDPA pour le réseau d'accès UMTS.
- Release 6: introduire l'évolution HSUPA pour le réseau d'accès UMTS.
- Release 7: introduire l'évolution HSPA+ MIMO.
- Release 8: c'est la première Release du réseau d'accès LTE et du réseau cœur EPC pour introduire les évolutions HSPA+ CPC et DC-HSDPA.
- Release 9: c'est la seconde Release du LTE pour introduire les évolutions du DC-HSDPA, notamment en combinaison avec le MIMO, et les évolutions du DC-HSUPA.
- Release 10: introduire l'évolution multi-porteuses du HSDPA (jusqu'à 4 porteuses, soit 20 MHz) et l'évolution du LTE appelée LTE-Advanced.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] L. Sassatelli, «Réseaux étendus et réseaux d'opérateurs », université Sophia-Antipolis 2012-2013.
- [2] L. Yves, « Réseau Téléphonique Commuté», Cours, ylescop.free.fr/mrim/cours/RTC.pdf, 2002.
- [3] P. Frédéric, « LE GSM », Département R&T - IUT de Nice Côte d'Azur.
- [4] AXE 10, «Common Channel Signaling CCITT N°7, Operation and Maintenance», L.M. Ericsson 1987, EN/LZT 101 780 R1.
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/r%C3%A9seau_num%C3%A9rique%C3%A0_int%C3%A9gration_de_services.
- [6] https://www.algerietelecom.dz/siteweb.php?p=fixe_pro.
- [7] «CommutateurTéléphonique»https://fr.wikipedia.org/wiki/Commutateur_t%C3%A9l%C3%A9phonique.
- [8] http://www.jsaintmichel.com/data/TL53/LeCours2_RTC_RNIS_LL_PABX.pdf.
- [9] A. Oumnad, «Réseau Téléphonique Commuté», Cours, <http://www.oumnad.123.fr/RTCP/RTCP.pdf>.
- [10] « Voix sur IP – VOIP », http://www.frameip.com/voip/#2.3_-_Architecture_du_r%C3%A9seau.
- [11] M.T. Saada, « Migration du réseau RTC au réseau IP MSAN Etude de cas Central Ariana » Mémoire Master, Université Tunis.
- [12] AXE 10, « GSS: Opération and maintenance», L.M. Ericsson 1987,EN/LZT 101555 A1.
- [13] A. Tlemçani et S. Chaoui, «Etude du système de commutation AXE, Application: maintenance de sous système RSS de l'AXE», Mémoire fin d'étude, Ingénieur d'état en télécommunications, Université SBA, 2006/2007.
- [14] S. Herve et al, « Nouvelles Technologies Réseaux, ADSL », Ecole Ingénieurs 2000, Université de Marne la Vallée.
- [15] « Approche concrète du Téléphone Fixe- RTC », http://docplayer.fr/1040039-Telephone_fixe-rtc.html.
- [16] Wikipedia site, <https://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9phone>.
- [17] https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_ADSL.
- [18] https://fr.wikipedia.org/wiki/Digital_subscriber_line_access_multiplexer.
- [19] http://igm.univ-mlv.fr/~dr/XPOSE2006/Julien_Walspurger/principe/cheminement.html.
- [20] <http://www.journaldunet.com/ebusiness/expert/55379/operateurs-telecom---les-technologies-qui-bouleverseront-la-donne-dans-les-annees-a-venir.shtml>.
- [21] <https://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9groupage>.

Bibliographie

- [22] « Guide pratique des communications électroniques », http://www.mediateur-telecom.fr/ressources/media/files/Guide_pratique_chapitre03.pdf.
- [23] C. Martial, « Systèmes de Télécommunications », cours, ENSEEIHT -2007-2008, http://coulon.perso.enseeiht.fr/transp_SCR.pdf.
- [24] F. LAUNAY, «Transport des données : PDH, SDH, WDM », IUT, Réseaux et Télécoms, 2011,2012.
- [25] https://fr.wikipedia.org/wiki/Hiérarchie_numérique_plésiochrone.
- [26] S. Baraketi, « Ingénierie des réseaux optiques SDH et WDM et étude multicouche IP/MPLS sur OTN sur DWDM », thèse de doctorat, l'Université Toulouse 3 Paul Sabatier, Mars 2015.
- [27] J-P. Gautier, « Les réseaux optiques» ; <http://docplayer.fr/3150780-Evolution-de-l-infrastructure-transport.html>.
- [28] J-P. Gautier, « Les réseaux optiques» ; CNRS/UREC, JRES' 99.
- [29] O. Adamus et al, « Nouvelles technologies réseaux : SONET / WDM », IR3, 2003.
- [30] <http://www.supinfo.com/articles/single/1065-technologie-wdm-wavelength-division-multiplexing>.
- [31] <https://wapiti.telecomlille.fr/commun/ens/peda/options/st/rio/pub/exposes/exposesrio2002/Printz-Tran/dwdm/dwdm.htm>.
- [32] <http://www.cbc.radio-canada.ca/fr/rendre-des-comptes-aux-canadiens/sync/sync-numero-1-2012/reseau-convergent-de-nouvelle-generation-rcng/>
- [33] G. Baudoin et coll, « Radiocommunications Numériques.1 : Principes, Modélisation et Simulation», Dunod, 2007.
- [34] D. Cédric, V D. Marc, « Principes de Base du Fonctionnement du Réseau GSM », Revue de l'AIM, pp. 3-18, N°4, 2004.
- [35] P. Brisson, P. Kropf, « Global System for Mobile Communication GSM», cours, Université de Montréal, pp.1-23.
- [36] http://www.memoireonline.com/09/11/4805/m_Point-sur-linternet-et-l-telephonie-mobile-au-Cameroun5.html.
- [37] J. M. Philippe, « Le réseau GSM et le Mobile », V07/2002.
- [38] J. Cellmer, « Réseaux cellulaires système GSM » Technique de l'ingénieur, 1999.
- [39] S.Znaty, « GPRS : Principes et Architecture », EFORT, 2005.
- [40] Cours « Téléphonie Mobile », Département R&T, Université Nice Sophia Antipolis, IUT.

Bibliographie

- [41] <https://fr.wikipedia.org/wiki>.
- [42] http://efort.com/r_tutoriels/ARCHITECTURES_EFORT.pdf.
- [43] Moussaoui. M, « Réseau UMTS et ses évolutions: UMTS/HSxPA/3LTE », Engineering school, <https://cel.archives-ouvertes.fr/cel-00665854>.
- [44] Ajgou.R, Abdesselam.S, « Réseau UMTS », Universités El-oued et Med khider Biskra.
- [45] « Réseau d'Accès UMTS: Architecture et Interfaces », <http://www.efort.com>.
- [46] Bouguen. Y, Hardouin. É et Wolff. F- X, « LTE et Les Réseaux 4 G», Groupe Eyrolles, ISBN : 978-2-212-12990-8, 2012.
- [47] DIBY .O. A-V, « Etude de l'évolution du cœur paquet vers l'EPC : cas d'Orange Cote d'Ivoire », Mémoire, Institut National Polytechnique, Cote d'Ivoire, 2014.
- [48] <https://www.finances.gov.ma/docs/2014/depf/etude.pdf>.
- [49] Merah. H, « Conception d'un MODEM de la quatrième génération (4G) des réseaux de mobiles à base de la technologie MC-CDMA », Mémoire de Magister En électronique, université SETIF, 2012.
- [50] <https://fr.wikipedia.org/wiki/3G>.
- [51] https://fr.wikipedia.org/wiki/Passerelle_VoIP.
- [52] <https://www.google.dz/search?q=Modulations numérique>.
- [53] <https://www.google.dz/search?q=système d'accès QAM&biw>.
- [54] <https://www.google.dz/search?q=duplexage Fdd: duplexage: la voie montante&biw>.
- [55] Poulliat. C, «Systèmes de télécommunication», INP ENSEEIHT, 2011.
- [56] <https://www.google.dz/search> l'étalement de spectre.