

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Blida 1

Faculté de Technologie

Département d'Electronique



جامعة البليدة 1

كلية التكنولوجيا

قسم الإلكترونيك

3^{ème} Année, Licence

Filière : Télécommunications

Cours

Téléphonie

Cours préparé par : Rédha BENDOUMIA

Liste des abréviations

RTC	Réseau Téléphonique Commuté
BPN	Blocs Primaires Numériques
PT	Postes Téléphonique
PC	Points de Concentration
SR	Sous Répartiteurs
CAA	Centres à Autonomie d'Acheminement
CL	Centres Locaux
ZL	Zone Locale
ZAA	Zone à Autonomie d'Acheminement
ZAAM	Zone à Autonomie d'Acheminement Multiple
ZTS	Zone de Transit Secondaire
ZTP	Zone de Transit Principale
URA	Unité de Raccordement d'abonnés
BP	Bande Passante
CATV	Community Antenna Television
LED	Light Emitting Diode
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
PIN	Positive Intrinsic Négative
MMF	Multi Mode Fiber
SMF	Single Mode Fiber
LAC	Location Aera Code
PLMN	Public Land Mobile Network
MSC	Mobile Switching Center
RAN	Radio Acces Network
CN	Core Network
SNR	Rapport Signal sur Bruit
TDMA	Time Division Multiple Acces
BTS	Base Transceiver Station
SM	Station Mobile
BSC	Base Station Controller
MSC	Mobile Switching Center
GSM	Global System Mobile
DCS	Digital Communication System
FSK	Frequency Shift Keying
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keing
LPC-RPE	Linear predictive coding and regular pulse excitation
CRC	Code à Redondance Cyclique
TS	Time Slot
FDMA	Frequency Division Multiple Acces
VLR	Visitor Location Register
HLR	Home Location Register

AuC	Authentication Center
BSS	Base Station Subsystem
SIM	Subscriber Identity Module
PIN	Personal Identification Number
PUK	Personal Unblocking Key
IMSI	International Mobile Subscriber Identity
MSISDN	Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network
NSS	Network Switching Center
GMSC	Gateway Mobile Switching Center
MSC	Mobile Switching Center
IMEI	International Mobile station Equipment Identity
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WCDMA	Wide-band Code Division Multiple Access
FDD	Frequency Duplex Division
TDD	Time Duplex Division
NMT	Nordic Mobile Telephone
FM	Frequency Modulation
GPRS	General Packet Radio Service
EDGE	Enhanced Data for GSM Evolution
PSK	Phase Shift Keying
3GPP	3rd Generation Partnership Project
IP	Internet Protocol
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
ME	Mobile Equipment
USIM	UMTS Subscriber Identity Module
RNC	Radio Network Controller
CS	Circuit Switched
PS	Packet Switched
GMSC	Gateway MSC
SGSN	Serving GPRS Support Node
RA	Routing Area
GGSN	Gateway GPRS Support Node
WAN	Wide Area Network
TRAU	Transcoder/Rate Adaptor Unit
LAPD	Link Access Protocol for the D channel
OSI	International Standard Organization
AODV	Ad hoc On Demand Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing

TABLE DE MATIERES

Avant-propos.....	01
Introduction générale.....	02
Chapitre I: Réseaux téléphonique commuté.....	04
1.1. Introduction	04
1.2. Organisation du réseau téléphonique.....	04
1.2.1. Réseau local.....	05
1.2.2. Réseau dorsal.....	07
1.2.2.1. Commutation.....	07
1.2.2.2. Transmission.....	08
1.2.3. Zones du réseau RTC.....	08
1.3. Acheminement.....	09
1.3.1. Organisation hiérarchique du réseau téléphonique.....	11
1.4. Poste téléphonique.....	12
1.4.1. Poste téléphonique à cadran.....	13
1.4.1.1. Envoi du numéro.....	14
1.4.1.2. Envoi de la parole.....	15
1.4.1.3. Circuit de parole	15
1.4.2. Poste téléphonique à clavier.....	16
1.5. Principe du raccordement d'utilisateur.....	18
1.5.1. Mise en relation Usager/Usager.....	19
1.5.2. Décrochage du combiné.....	19
1.5.3. Tonalité.....	20
1.6. Commutateurs.....	21
1.7. Conclusion.....	21
Chapitre II : Supports de transmission.....	22
2.1. Introduction.....	22
2.2. Caractéristiques des supports de transmission	22
2.2.1. Bande passante.....	22
2.2.2. Impédance caractéristique.....	24
2.2.3. Coefficient de vélocité.....	25
2.3. Supports de transmission.....	25
2.3.1. Paire torsadée.....	25
2.3.2. Câble coaxial	28
2.3.3. Fibre optique.....	28
2.3.3.1. Fibre multi-modes	30
2.3.3.2. Fibre monomode	30
2.3.4. Faisceaux hertziens.....	32
2.3.4.1. Principe.....	32
2.3.4.2. Utilisations.....	33
2.4. Conclusion.....	34
Chapitre III : Téléphonie numérique cellulaire.....	35
3.1. Introduction.....	35
3.2. Réseaux mobile	35
3.2.1. Concept cellulaire	35

3.2.2. Handover.....	37
3.2.3. Réutilisation des fréquences	38
3.2.4. Communication entre les deux réseaux mobile et RTC.....	38
3.2.5. Capacité d'un réseau.....	39
3.2.6. Infrastructure du réseau mobile.....	39
3.2.7. Problèmes liés à la propagation des ondes radio.....	40
3.2.7.1. Distorsion en amplitude (Fading de Rayleigh).....	40
3.2.7.2. Distorsion en fréquence (effet Doppler).....	41
3.2.7.3. Affaiblissement de propagation.....	42
3.2.7.4. Retard de transmission.....	42
3.2.7.5. Interférences dans la transmission.....	43
3.2.8. Qualité de service.....	43
3.2.8.1. Gérer la mobilité.....	43
3.2.8.2. Sécurité de la communication.....	44
3.2.8.3. Nombre d'abonnés dans la zone couverte.....	44
3.2.8.4. Services supplémentaires.....	44
3.3. Système GSM.....	44
3.3.1. Structure générale du réseau GSM.....	45
3.3.1.1. Réseau d'accès radio du système GSM	45
3.3.1.2. Réseau cœur du système GSM	45
3.3.2. Bandes de fréquences.....	46
3.3.3. Modulation.....	47
3.3.4. Traitement de la parole.....	48
3.3.4.1. Filtrage.....	48
3.3.4.2. Echantillonnage.....	48
3.3.4.3. Compression.....	48
3.3.4.4. Protection contre les erreurs.....	49
3.3.4.5. Cryptage.....	50
3.3.5. Techniques de multiplexage.....	50
3.3.5.1. Multiplexage TDMA	50
3.3.5.2. Multiplexage FDMA	52
3.3.6. Architecture du réseau GSM.....	53
3.3.6.1. Sous-système radio (BSS).....	54
3.3.6.2. Sous-système réseau (NSS).....	56
3.3.6.3. Centre d'exploitation et de maintenance.....	58
3.4. Conclusion.....	58
Chapitre IV : Nouvelles générations de la téléphonie numérique.....	59
4.1. Introduction	59
4.2. Historique	59
4.2.1. Système NMT (1G)	59
4.2.2. Système GSM (2G).....	60
4.2.3. Système GPRS (2.5G).....	60
4.2.4. Système EDGE (2.75G).....	61
4.2.5. Système UMTS (3G).....	61
4.3. Troisième génération (3G).....	62
4.4. Système UMTS	62
4.4.1. Objectifs du Système UMTS.....	63
4.4.2. Hiérarchie des cellules et débits de l'UMTS	64
4.4.3. Classes de services de l'UMTS	64

4.4.4. Caractéristiques	66
4.4.5. Architecture de l'UMTS.....	67
4.4.5.1. Présentation du terminal utilisateur	68
4.4.5.2. Réseau d'accès radio (UTRAN)	68
4.4.5.3. Réseau cœur.....	70
4.4.6. Technique CDMA	73
4.5. Evolution des générations.....	73
4.6. Conclusion.....	74
Chapitre V : Equipements d'interconnexion en téléphonie.....	75
5.1. Introduction.....	75
5.2. Réseaux à commutation.....	75
5.2.1. Type de topologie.....	76
5.2.1.1. Topologie en étoile.....	76
5.2.1.2. Topologie en arbre.....	76
5.2.1.3. Topologie complètement maillée.....	77
5.2.2. Commutateurs.....	77
5.3. Infrastructures et interfaces des réseaux mobiles.....	80
5.3.1. Interface A.....	81
5.3.2. Interface Abis.....	82
5.3.3. Interface Um.....	82
5.3.4. Interface B.....	82
5.3.5. Interface C.....	82
5.3.6. Interface D.....	82
5.3.7. Interface E.....	83
5.3.8. Interface F.....	83
5.3.9. Interface G.....	83
5.4. Routage.....	83
5.4.1. Organismes de normalisation.....	84
5.4.2. But du routage.....	85
5.4.3. Routeur.....	85
5.4.4. Protocole de routage.....	86
5.4.5. Contraintes de routages dans les réseaux mobiles.....	86
5.4.6. Classification des protocoles de routage.....	86
5.4.6.1. Routage hiérarchique ou plat.....	87
5.4.6.2. Routage à la source et le routage saut par saut.....	87
5.4.6.3. Routage a état de lien et a Vecteur de distance.....	87
5.5. Passerelles.....	87
5.6. Conclusion.....	88
Conclusion générale.....	89
Bibliographie.....	90

Avant-propos

Ce polycopié constitue un support de cours du module Téléphonie enseigné aux étudiants de 3^{ème} année Licence, Filière : Télécommunications. Le programme proposé sous forme de points dans le cahier de charge a été suivi après une restructuration en quatre chapitres. Le volume horaire hebdomadaire fixé par le cahier de charge est : un cours par semaine.

L'objectif de ce cours est de comprendre : Les différentes caractéristiques des supports de transmission ; le principe de fonctionnement du réseau téléphonique commuté et finalement les technologies et générations ainsi que les architectures de communication sans fil (réseaux mobile).

Le lecteur de ce document doit avoir des connaissances particulières préalables en télécommunication fondamentale.

Introduction Générale

Un réseau de communication est l'ensemble des ressources matérielles et logicielles liées à la transmission et l'échange d'information entre différentes entités. Suivant leur organisation, architecture, les distances, les vitesses de transmission et la nature des informations transmises, les réseaux font l'objet d'un certain nombre de spécifications et de normes. Plusieurs architectures de réseaux existent en pratique. Nous nous focalisons ici sur les deux réseaux fixes et mobiles.

Le Réseau Téléphonique Commuté Public RTCP, connu plus brièvement sous RTC, est le réseau téléphonique utilisé dans la vie de tous les jours et qui nous donne accès à de multiples fonctions. En effet, outre le fait de pouvoir téléphoner, le RTC nous permet d'utiliser de multiples services tel que la transmission et réception de fax, l'utilisation d'un minitel, accéder à Internet, etc.

Le début des années 1980 fut marqué par l'ouverture du réseau radio analogique de 1^{ère} génération (1G). Celui-ci offrait un service de radio téléphonie mobile avec des terminaux lourds et encombrants. Le temps de connexion vers les abonnés filaires était long. L'abonnement et les terminaux étaient chers. A la même époque, il fut décidé d'aller plus loin en ouvrant un service de téléphonie mobile numérique :

- Services de télécommunications compatibles avec ceux des réseaux filaires,
- Compatibilité d'accès dans tout pays pourvu d'un réseau de radiotéléphonie,
- Localisation automatique des usagers sous la couverture,
- Grande variété de terminaux produits par divers industriels,
- Coûts des terminaux et des abonnements compétitifs,
- Evolutivité.

Première norme de téléphonie cellulaire numérique, le GSM fut défini par un groupe de travail « Groupe Spécial Mobile » lancé par la CEPT. La rédaction du standard fut réalisée par l'ETSI et au final, le GSM, devenu « Global System for Mobile communications » naquit en 1991. Par opposition aux anciens réseaux analogiques, le GSM fut qualifié réseau de 2^{ème} Génération (2G).

Il existe plusieurs technologies de la troisième génération dans le monde. Chacune d'elles suivent les recommandations IMT2000 (International Mobile Telecommunications). Suivant les continents, la norme utilisée est différente :

- Europe : UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
- Amérique : CDMA-2000 (Code Division Multiple Access)
- Japon et Corée : W-CDMA (Wideband CDMA)
- Chine : TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA)

Ces normes permettent de transporter les données sans-fil à haut débit sur la même connexion. La particularité des technologies 3G est d'avoir un réseau cœur IP.

De nos jours, nous avons à faire à plusieurs types de réseaux locaux sans-fil et de réseaux mobiles. Ces deux appellations sont souvent utilisées pour signifier la même chose alors qu'il s'agit de termes différents. La portée des réseaux sans-fil est faible, et ne permettent pas des déplacements importants. En revanche, les réseaux mobiles proposent une portée plus conséquente, et permettent des utilisations lors de déplacements importants avec une certaine vitesse.

Le schéma ci-dessous présente les différents types de réseaux sans-fil et réseaux mobiles :

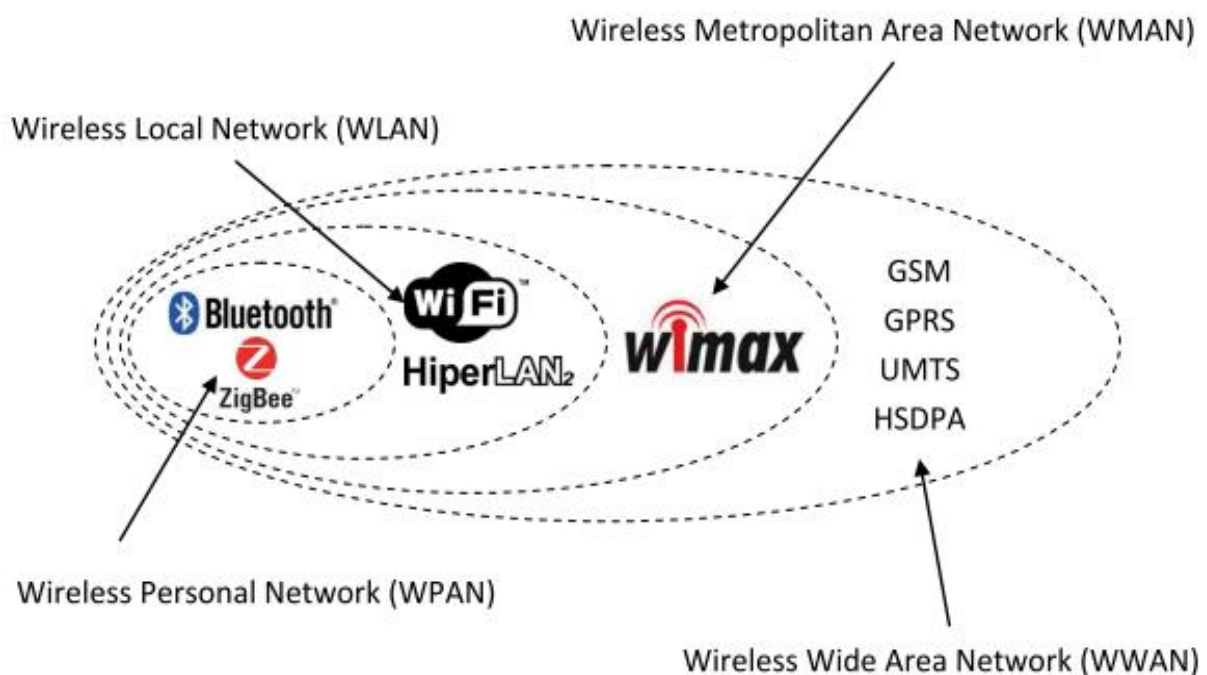


Figure 1. Présentation des différents réseaux sans-fil et mobiles

Chapitre I:

Réseau téléphonique commuté (RTC)

1.1. Introduction

Le réseau téléphonique commuté (ou RTC) est le réseau historique des téléphones fixes, dans lequel un poste d'abonné est relié à un commutateur téléphonique du réseau public par une paire de fils alimentée en batterie centrale intégrale. Les commutateurs téléphoniques sont eux-mêmes reliés entre eux par des liens offrant un débit de 2 Mb/s, ce sont les blocs primaires numériques (BPN).

Ce réseau téléphonique est constitué de l'ensemble des organes nécessaires pour mettre en communication deux installations téléphoniques d'abonnés en utilisant les renseignements fournis par l'abonné demandeur (numérotation), maintenir celle-ci pendant toute la durée de conversation avec une qualité d'écoute satisfaisante, tout en supervisant cette communication pour détecter toute coupure ou raccrochage afin de libérer les organes qui ont servi à la réalisation de la liaison et en fin, de faire une taxation.

1.2. Organisation du réseau téléphonique

On peut considérer que le RTC est constitué d'un réseau local et d'un réseau dorsal. La Figure I.1 représente la structure générale d'un réseau RTC.

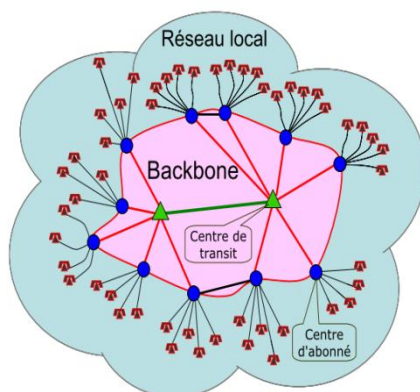


Figure I.1. Réseaux local et dorsal dans le RTC.

1.2.1. Réseau local

Le réseau local ou réseau périphérique est constitué essentiellement des lignes d'abonnés qui sont constituées de paire de cuivre de diamètre 0.4 à 0.6 mm de diamètre. La ligne téléphonique aussi appelée boucle locale relie le poste téléphonique de l'abonné au commutateur d'entrée dans le réseau dorsal de l'opérateur, ce commutateur est appelé commutateur de rattachement ou commutateur d'abonné. Il se situe dans un bâtiment appelé central ou centre téléphonique. Pour faciliter le déploiement et l'exploitation du réseau périphérique, celui-ci est organisé comme indiqué sur la Figure I.2.

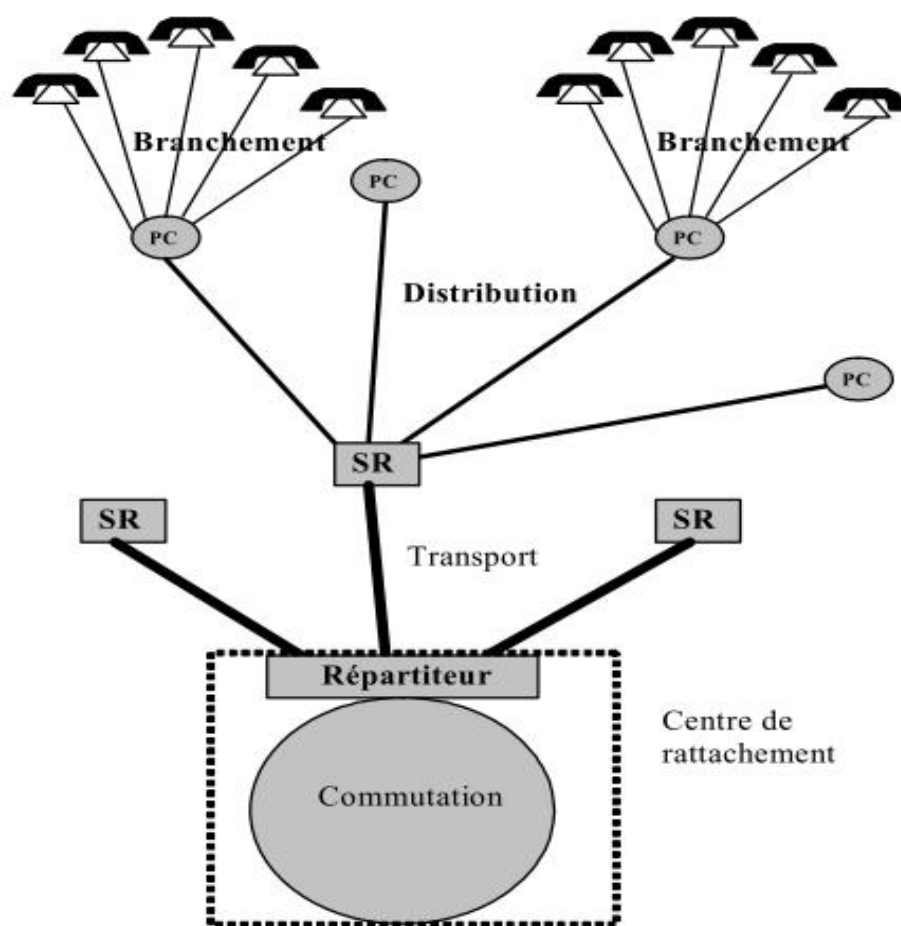


Figure I.2. Structure du réseau local.

Dans la table suivante, nous présentons les différents étages du réseau local (Postes téléphoniques, Points de concentration, Sous répartiteurs et Répartiteurs) et les câbles de branchement, de distribution et de transport.

Table I.1. Différents étages du réseau local.

Eléments	Définitions
Postes téléphonique, PT	(Voir la section 1.4)
Câbles de branchement	Ce sont des lignes bifilaires individuelles
Points de concentration, PC	Ce sont des petites boîtes placées sur des poteaux ou dans des endroits réservés au sein des immeubles desservis. Les paires téléphoniques arrivent au PC sur des réglettes, des connexions amovibles les relient à d'autres réglettes sur lesquelles sont branchés les câbles de distribution. Le PC n'est rien d'autre qu'un mini répartiteur de petite capacité d'une à quelques dizaines de paires.
Câbles de distributions	relient les points de concentration au sous Répartiteurs. Chaque câble contient un certain nombre de paires et leurs calibres sont généralement normalisés. On trouve des câbles de 14, 28, 56, 112, 224, 448 paires de calibres 0.4 ou 0.6 mm. Ces câbles peuvent être soit aériens, soit posé en plein terre soit en canalisations souterraines équipées de regards de visite pour l'entretien.
Sous répartiteurs, SR	sont des "casiers" placés sur les trottoirs. Ils permettent de la même façon qu'un PC de regrouper les câbles de distribution vers les câbles de transport qui sont plus volumineux. Un SR peut connecter jusqu'à 1500 paires.
Câbles de transport	sont similaires aux câbles de distribution avec des capacités plus élevée, 112 à 2688 paires. Ces câbles sont posés dans des conduites souterraines.
Répartiteur général	constitue le point d'accès des lignes à l'autocommutateur. Les lignes sont amenées sur des barrettes verticales dites têtes de câble verticales ou tout simplement "les verticales". Les points d'arrivés des lignes sur l'autocommutateur sont raccordées sur des réglettes horizontales. La liaison entre Verticales et Horizontales se fait au moyen de jarretières.

1.2.2. Réseau dorsal

Le réseau dorsal est constitué des commutateurs et des systèmes de transmission, c'est un réseau d'une structure étoilée/maillée.

1.2.2.1. Commutation

Les commutateurs (centres) sont fonctionnellement de deux types, les centres d'abonnés et les centres de transit.

i) Centres d'abonnés sont les centres qui permettent le rattachement des abonnés. Ils sont différenciés en deux types:

- *Les centres à autonomie d'acheminement « CAA »* qui sont capables d'analyser les numéros qu'ils reçoivent et les traduire en un itinéraire parmi ceux possibles pour acheminer la communication vers l'abonné demandé.
- *Les centres locaux « CL »* qui ne sont pas capables d'analyser la numérotation ou ils sont seulement capables d'analyser les numéros des abonnés qu'ils desservent, les autres sont tous acheminés vers une seule direction. S'ils n'ont aucune intelligence et leur rôle se limite à la concentration, on les appelle aussi centres auxiliaires.

ii) Centres de transit permettent de connecter les commutateurs qui n'ont pas de liaison entre eux. Ceci permet d'avoir un réseau étoilé plus facile à gérer et moins onéreux.

Les centres de transits sont aussi différenciés en deux types :

- Centres de transit secondaires, et
- Centres de transit principaux.

Note :

On peut trouver un centre qui assure simultanément les deux fonctions de rattachement d'abonnés et de transits. Les centres de transit permettant de connecter les réseaux de deux pays sont appelés centres de transit internationaux.

1.2.2.2. Transmission

Le réseau de transmission relie entre eux les différents commutateurs et fournit les ressources (systèmes et support) pour transporter le trafic entre les commutateurs.

Dans le central téléphonique, on trouve un centre de transmission qui est relié à un ou plusieurs autres centres de transmission par des lignes appelées circuits ou jonctions. Pour fournir la capacité de transport nécessaire, plusieurs circuits sont utilisés et on parle de faisceau de circuit. Avec la numérisation et le multiplexage, un seul circuit peut transporter plusieurs communications téléphoniques. Une ligne ayant un débit de 2 Mb/s transporte 30 communications.

1.2.3. Zones du réseau RTC

La Figure I. 3 représente les différentes zones du réseau RTC.

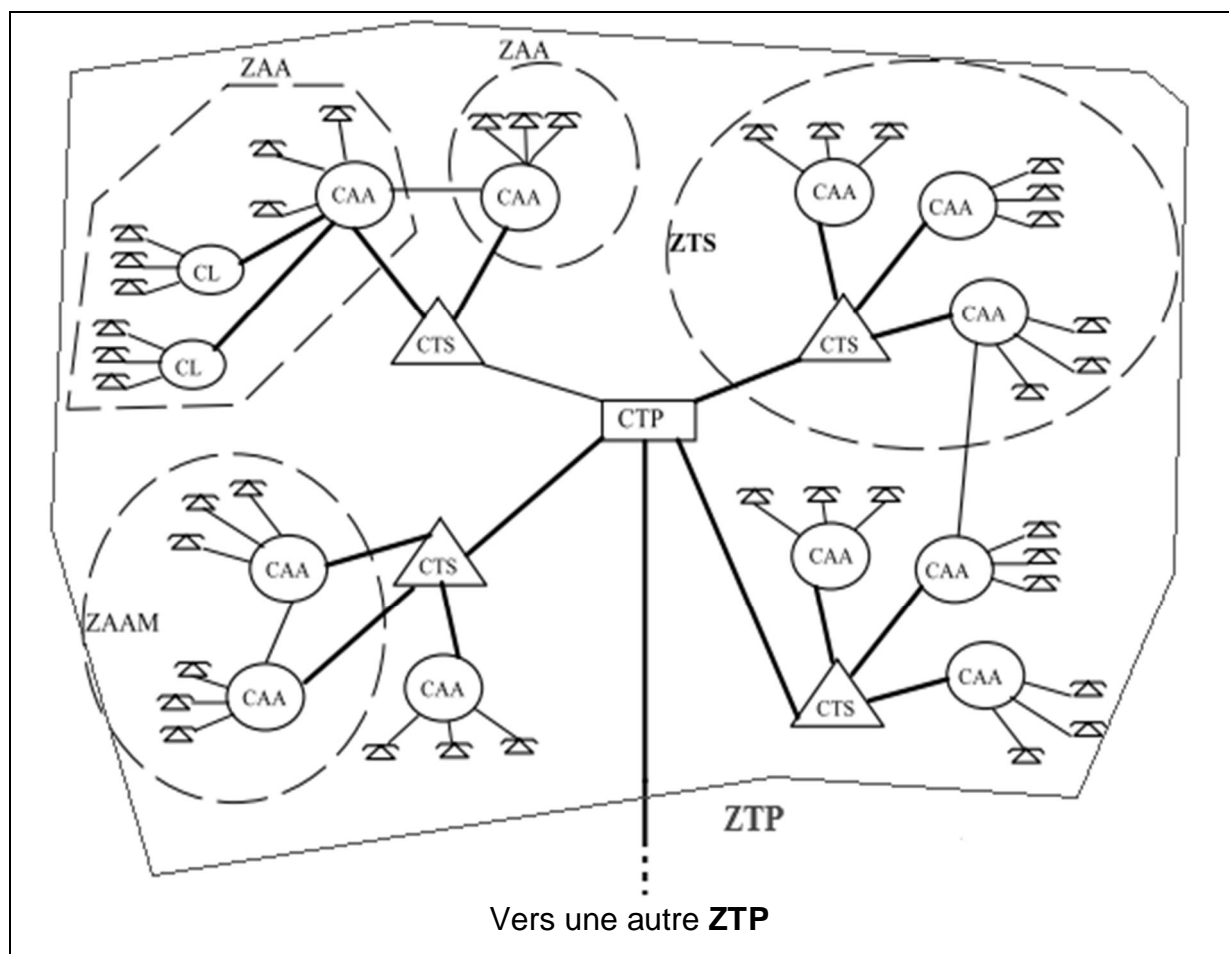


Figure I.3. Structure simplifiée d'un tronçon du RTC

On distingue plusieurs zones dans le RTC qui sont données dans la table I.2.

Table I.2. Zones du réseau RTC.

Zone	Définition
Zone locale (ZL)	Zone desservie par un centre local
Zone à autonomie d'acheminement (ZAA)	Zone desservie par un centre à autonomie d'acheminement.
Zone à autonomie d'acheminement multiple (ZAAM)	Une ZAA qui englobe plusieurs CAA est dite zone à autonomie d'acheminement multiple (ZAAM).
Zone de transit secondaire (ZTS)	C'est la zone desservie par un centre de transit secondaire.
Zone de transit principale (ZTP)	C'est la zone desservie par un centre de transit principal.

Les médias de transmission utilisés dans le réseau RTC sont le cuivre (paires torsadées, câble coaxial), la fibre optique et les faisceaux hertziens. La tendance actuelle va vers la fibre optique qui offre une capacité et une qualité de transmission élevée ainsi qu'une portée bien supérieure à celle du cuivre.

1.3. Acheminement

Si le réseau téléphonique était purement maillé, il y aurait beaucoup de chemins possibles pour acheminer le trafic entre un centre et un autre. Les algorithmes de recherche de chemins optimaux entre deux centres peuvent être assez compliqués à mettre en œuvre.

Si par contre le réseau était purement étoilé, il y aurait un seul chemin possible entre un centre et un autre et il n'y aurait pas lieu de parler d'acheminement. Il suffit d'observer la Figure I.4 pour constater qu'il n'est pas envisageable de concevoir un RTC maillé.

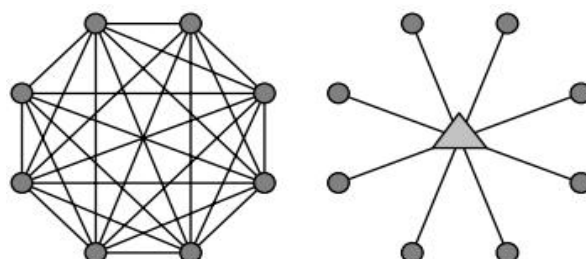


Figure I.4. Réseau maillé et réseau étoilé.

Le RTC est donc essentiellement un réseau étoilé. Chaque centre d'abonné est connecté à un centre de transit qui lui permet de se connecter à d'autres centres d'abonnés en passant éventuellement par d'autres centres de transit (Figure I.5).

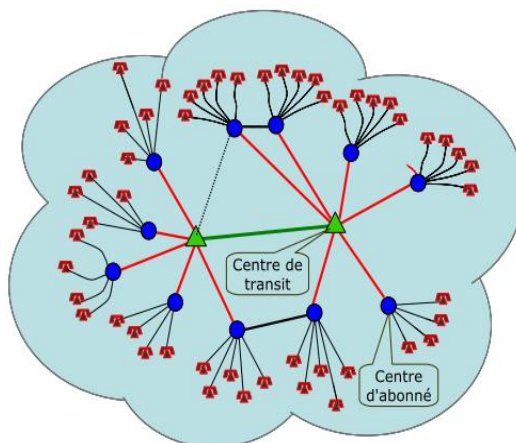


Figure I.5. Structure du RTC.

L'avantage de cette architecture n'est seulement de rendre possible l'interconnexion de tous les centres téléphoniques mais elle permet d'améliorer le rendement des infrastructures téléphoniques. L'efficacité (rendement) d'un faisceau de circuit est définie par $E=A/N$, A est le trafic véhiculé par le circuit et N est le nombre de lignes constituant le circuit.

Sur un réseau étoilé, le faisceau de circuit qui connecte un centre d'abonné à son centre de transit transporte tout le trafic de ce centre d'abonné, c'est donc un gros faisceau qui aura une bonne efficacité. Ce n'est pas le cas d'un réseau maillé, car vu sa nature, il est constitué d'une multitude de "petits" faisceaux directs écoulant peu de trafic, leurs coût est donc plus élevé puisque leurs efficacité est plus faible.

Lors du dimensionnement d'un réseau il faut tenir compte du coût de transport et aussi du coût de commutation. Dans certains cas (pour des raisons de proximité et de trafic très élevé par exemple), il est intéressant (sur le plan économique) de garder un faisceau direct entre deux centres d'abonné, tout en améliorant son efficacité en diminuant son nombre de circuits. Ceci augmente la probabilité d'échec, mais le trafic qui ne peut être acheminé est véhiculé ou débordé à travers du centre de transit. La pose d'un faisceau direct est toujours le résultat d'une étude pour justifier sa rentabilité.

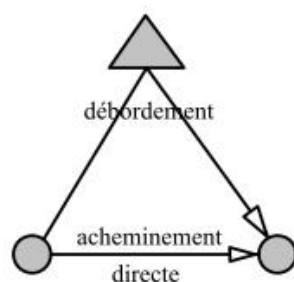


Figure I.6. Chemin direct et chemin de débordement.

En définitive, le RTC est un réseau étoilé partiellement maillé. Les centres de transit sont interconnectés entre eux en suivant la même logique. Deux centres de transits peuvent être reliés soit directement soit à travers un autre centre de transit de niveau supérieur selon une architecture étoilée. La situation va dépendre fortement de l'étendue du réseau et de sa densité ce qui fait que les architectures vont varier sensiblement d'un pays à un autre (Structure hiérarchique).

1.3.1. Organisation Hiérarchique du réseau téléphonique

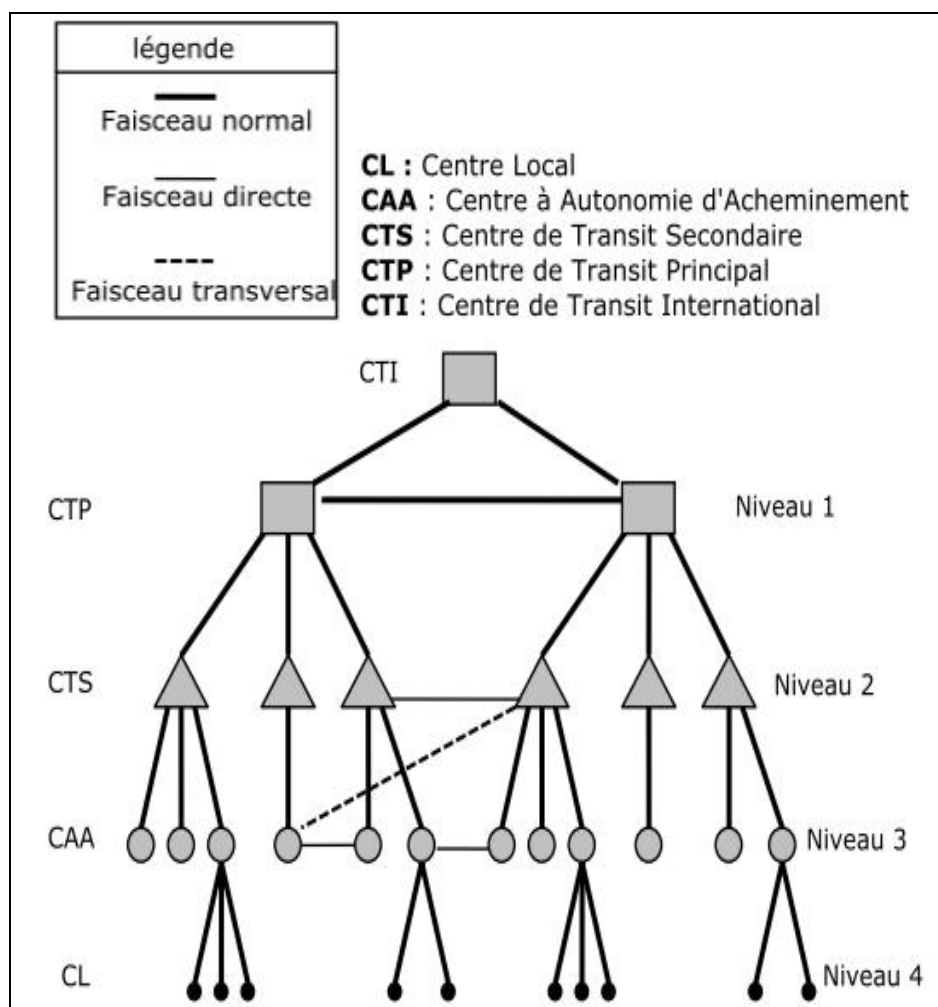


Figure I.7. Structure hiérarchique à 4 niveaux.

Note :

Faisceaux normaux sont obligatoires et assurent l'universalité du service, une communication peut toujours parvenir à un demandé quelconque en empruntant une suite de faisceaux normaux et de centres de transit ;

Faisceaux directs relient les centres de même niveau hiérarchique ;

Faisceaux transversaux relient des centres indépendamment de la stricte hiérarchie du réseau.

La création des faisceaux directs et transversaux repose sur des considérations économiques et qualitatives (dé-saturation des commutateurs de transit, rapidité et simplicité d'établissement des communications...). A la différence des faisceaux normaux, son dimensionnement est tel qu'il a un rendement élevé quant à avoir une probabilité de perte élevée du moment qu'on pourra pratiquer des débordements par les faisceaux normaux en cas de trafic offert important.

1.4. Poste téléphonique

Le poste téléphonique conventionnel, malgré sa simplicité apparente assure un nombre surprenant de fonctions dont voici quelques-unes :

- Il est hors de fonction quand le combiné est raccroché, une sonnerie est branchée en permanence sur la ligne permettant d'avertir l'abonné chaque fois qu'un appel lui est adressé.
- Une fois le combiné décroché, il indique que le poste est prêt à être utilisé en recevant une tonalité continue. Au cas où le combiné a été décroché pour répondre à un appel, il n'y aurait pas de tonalité mais le poste est directement relié à l'abonné demandeur.
- Il reçoit et génère la signalisation d'abonné comme la sonnerie, les différentes tonalités, les signaux de numérotation, le décrochage et le raccrochage.
- Il permet de transformer le signal acoustique (parole) en signal électrique qui sera transmis sur la ligne. Il transforme aussi le signal électrique reçu en signal acoustique.
- Il indique au centre de rattachement la fin de la communication quand l'abonné raccroche, le centre de rattachement avertira l'autre abonné en lui envoyant la tonalité de fin de communication.

1.4.1. Poste téléphonique à cadran

Le schéma simplifié d'un poste téléphonique à cadran est donné dans la Figure I.8.

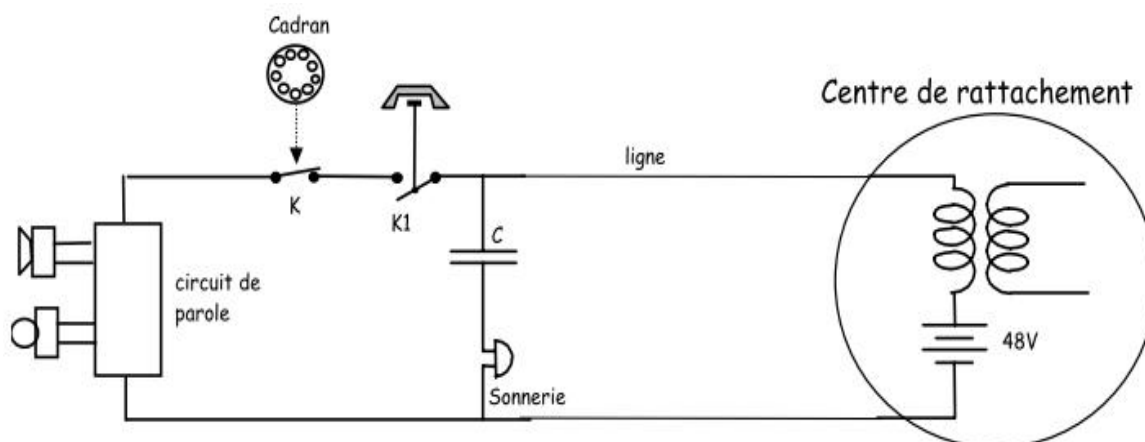


Figure I.8. Schéma simplifié d'un poste téléphonique à cadran

Quand le combiné est raccroché, K1 ouverts, seule la sonnerie est reliée à la ligne. La capacité C empêche le courant continu de circuler dans la ligne à travers la sonnerie. L'interrupteur K est fermé au repos, c'est lui qui permettra de composer le numéro, par l'ouverture et la fermeture de la ligne au rythme du retour du cadran.

Quand on décroche le combiné, l'interrupteurs K1 se ferme et un courant continu circule dans la ligne créant ce qu'on appelle la boucle de courant ou boucle locale. (Locale entre l'abonné et son centre de rattachement).

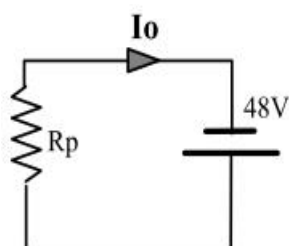


Figure I.9. Boucle de courant

La valeur du courant de boucle I_o est de l'ordre de 25 à 40 mA, elle dépend de R_p , résistance (statique) équivalente de la boucle qui englobe :

- Le circuit de parole, constitué d'une bobine et d'une résistance d'équilibrage ;
- La résistance de la ligne qui dépend de sa longueur ;
- La résistance équivalente des circuits traversés au niveau du centre de rattachement, essentiellement des bobines et des résistances de protection.

Le courant I_0 informe le poste de rattachement (à l'aide d'un circuit de détection de courant de boucle non représenté sur le schéma) que l'abonné veut passer un appel, Le centre renvoie alors la tonalité d'invitation à numéroté pour informer l'abonné qu'il est prêt à recevoir le numéro.

1.4.1.1. Envoi du numéro

Numérotation décimale (Numérotation impulsionnelle)

Le poste à cadran possède un disque mobile contenant 10 trous également espacés numérotés de 0 à 9. Pour composer un chiffre, on arme le cadran à partir du chiffre qu'on désire composer jusqu'à la butée puis on le relâche, le disque revient alors à sa position de repos sous l'action d'un ressort de rappel. C'est durant le retour que sera généré le train d'impulsion correspondant au chiffre composé. Cela par l'ouverture et la fermeture de la ligne par l'intermédiaire de l'interrupteur K un nombre de fois égal au chiffre composé.

Un cadran est caractérisé par sa vitesse de retour donc par le nombre d'impulsions générées par seconde et par le rapport de la durée d'ouverture DO sur la durée de fermeture. L'ordre de grandeur est de 10 impulsions par seconde. Toute fermeture ($I = I_0$) nettement supérieure à 33 ms est considérée comme une séparation entre deux chiffres ou à une fin ou abandon de numérotation. Toute ouverture ($I = 0$) nettement supérieure à 66 ms est considérée comme un raccrochage.

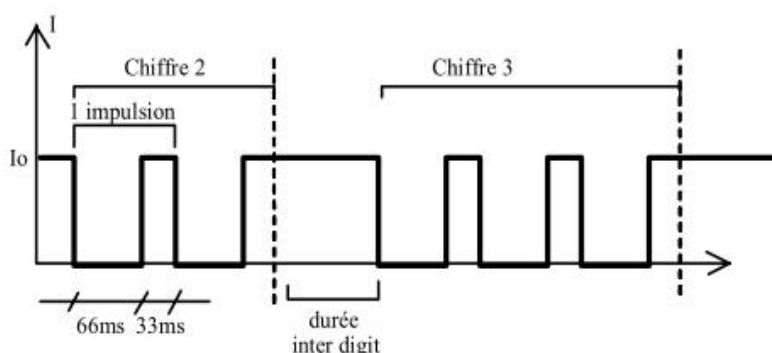


Figure I.10. Signal de numérotation impulsionnelle

Numérotation par fréquences vocales

Numérotation par fréquences vocales ou DTMF (Dual Tone Multi Frequency) est un procédé de numérotation qui génère des sonorités codées. Il doit émettre deux fréquences spécifiques dans la gamme 300Hz - 3400Hz pour transmettre un chiffre.

Il est très peu probable que deux fréquences spécifiques, dont les valeurs sont premières entre elles, soient présentes à l'arrière-plan du microphone pendant la numérotation.

Sur le clavier du téléphone, en appuyant sur une touche, on émet les deux tonalités correspondant à l'intersection de l'axe horizontal et de l'axe vertical.

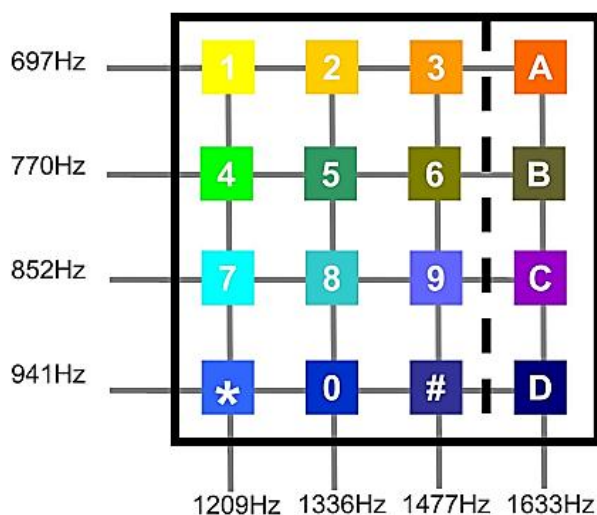


Figure I.11. Fréquences normalisées du DTMF

1.4.1.2. Envoi de la parole

Tout simplement le courant de boucle est modulé par la voix. Dans le cas de l'utilisation d'un microphone à poudre de charbon, la modulation se fait grâce à la résistance variable du microphone.

Le fait de parler devant la membrane, on comprime et décomprime la poudre de charbon qui se trouve dans une boule flexible, qui de ce fait, voit sa résistance varier au même rythme que la parole.

1.4.1.3. Circuit de parole

Le circuit de parole est constitué d'une bobine particulière sur laquelle sont branchés l'écouteur et le microphone constituant le combiné. Le rôle principal de cette bobine est d'adapter la ligne téléphonique (2 fils) au combiné (4 fils micro + écouteur). Elle est constituée d'un transformateur différentiel simplifié.

Le transformateur différentiel est un quadriporte sur lequel on peut montrer que si une terminaison se comporte comme générateur et si la terminaison opposée est chargée par une impédance égale à l'impédance de la première, alors une des deux terminaisons restantes présentera un affaiblissement important (+ de 20 dB) donc l'information sera aiguillée vers la terminaison restante.

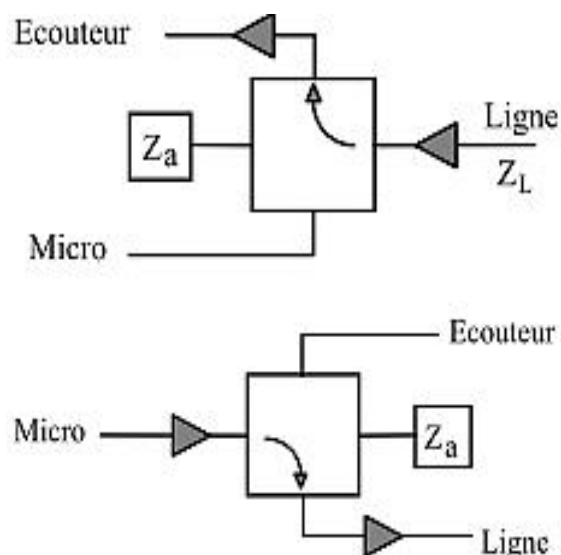


Figure I.12. Transformateur Différentiel en téléphonie

La Figure I.12 illustre l'utilisation d'un tel transfo dans un poste téléphonique. Le problème est que, dans un réseau téléphonique, la longueur des lignes varie d'un abonné à l'autre, l'impédance de la ligne Z_L n'est pas constante, il est donc impossible de définir une impédance d'adaptation Z_a qui réalise une adaptation parfaite, ce qui n'est d'ailleurs pas souhaitable car, dans ce cas, tout le signal issu du microphone serait acheminé vers la ligne et on aura un antilocal parfait alors que l'expérience montre qu'il y a un meilleur confort de conversation quand on entend "un peu" dans l'écouteur sa propre voix captée par le microphone.

1.4.2. Poste téléphonique à clavier

Il s'agit de poste à clavier permettant de simuler le fonctionnement du poste à cadran en générant des impulsions similaires. Ils sont donc utilisés avec le même type de carte d'abonné au niveau des centres téléphoniques.

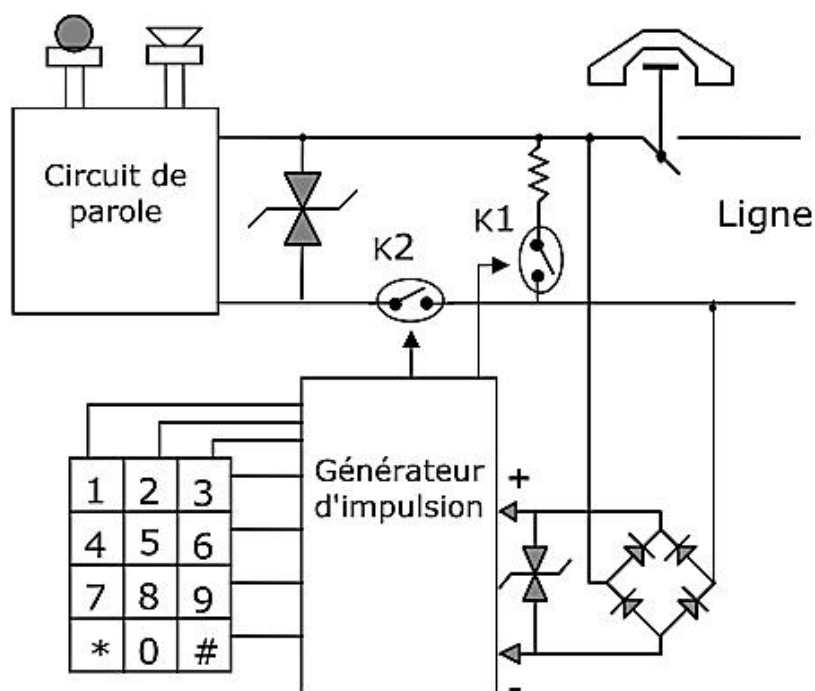


Figure I.13. Poste impulsionnelle à clavier

Quand on appuie sur une touche, le générateur d'impulsion génère un signal qui va agir sur l'interrupteur de numérotation K1. On obtient ainsi sur la ligne un nombre d'impulsions égal au chiffre marqué sur la touche en respectant les temps de fermeture et d'ouverture en vigueur (~10 Hz). La majorité des constructeurs de circuits intégrés proposent des circuits réalisant cette fonction.

Avec ce genre de poste, l'opérateur peut actionner les touches à une cadence supérieure à la vitesse d'acheminement des numéros sur la ligne (1 s pour le chiffre 0 par exemple). Le dernier numéro tapé reste en mémoire même s'il y a raccrochage, il pourra être retransmis par l'action d'une touche spécifique (redile), ceci est particulièrement utile surtout quand on essaye d'avoir une ligne continuellement occupée.

L'alimentation de ces postes se fait par la ligne à travers un pont redresseur pour éviter le problème de polarité.

Quand on appuie sur une touche :

- K2 s'ouvre pour isoler le circuit de parole le protégeant ainsi des surtensions.
- K1 s'ouvre et se referme un nombre de fois égal à la touche actionnée.
- Une fois la numérotation du chiffre terminée, K2 est fermé et K1 reste ouvert.

Le générateur d'impulsion ainsi que les transistors réalisant K1 et K2 sont des composants haute-tension pour minimiser le risque de destruction par mauvaise protection contre les surtensions.

1.5. Principe du raccordement d'utilisateur

L'utilisateur est raccordé au réseau via une unité de raccordement (URA, Unité de Raccordement d'Abonnés). Celle-ci peut être locale ou distante. Le commutateur de raccordement assure les fonctions de réception et de mémorisation de la numérotation (Enregistreur), celle-ci est analysée et traduite par un traducteur qui va définir les conditions de taxation et déterminer le routage. Enfin, le sélecteur recherche une ligne disponible (joncteur) et affecte les ressources (circuits ou IT). La Figure I.14 illustre ces différents éléments.

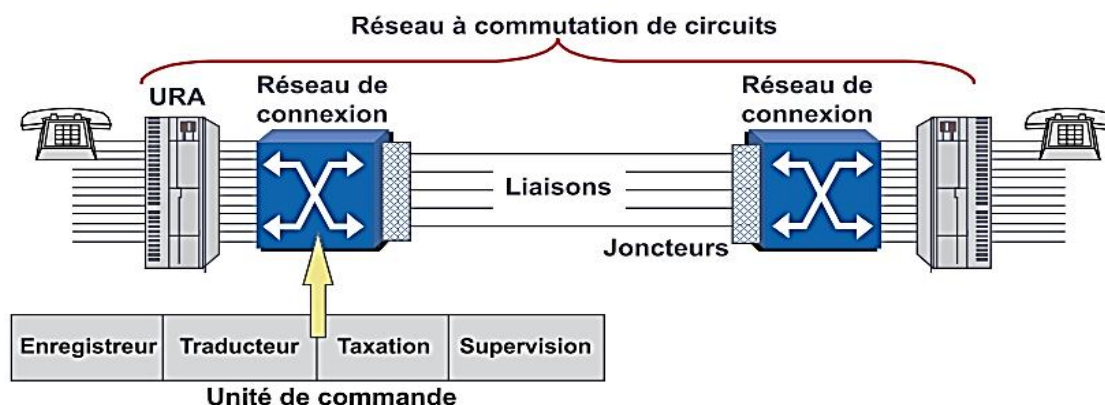


Figure I.14. Principe du raccordement des abonnés.

1.5.1. Mise en relation Usager/Usager

La mise en relation de deux abonnés répond à un protocole qui organise le dialogue entre les terminaux d'utilisateur et le réseau (signalisation Usager/Réseau).

Elle comporte deux ensembles de mécanisme.

- i) Le premier correspond à un échange d'information hors communication destiné à établir celle-ci ou à libérer les ressources, c'est la signalisation.
- ii) Le second est la communication téléphonique proprement dite.

La figure I.15 illustre les différentes étapes de la mise en relation de deux abonnés, celles-ci au nombre de cinq sont détaillées ci-dessous :

- i) décroché du combiné, détection de la boucle de courant, envoi de la tonalité d'invitation à numéroter ;

- ii) numérotation, le numéro composé est mémorisé et décodé par le commutateur de rattachement. Le système établit le lien. Durant cet intervalle de temps, le demandeur recevait, une tonalité dite de progression d'appel;
- iii) envoi du signal de sonnerie à l'appelé distant et attente du décroché de celui-ci. L'appelant reçoit le signal de retour d'appel communément appelé sonnerie ;
- iv) le correspondant décroche. Le central de rattachement détecte le décroché (boucle de courant), il arrête les signaux de sonnerie, les signaux de retour d'appel et déclenche la taxation ;
- v) l'échange d'information (voix ou données) peut commencer.

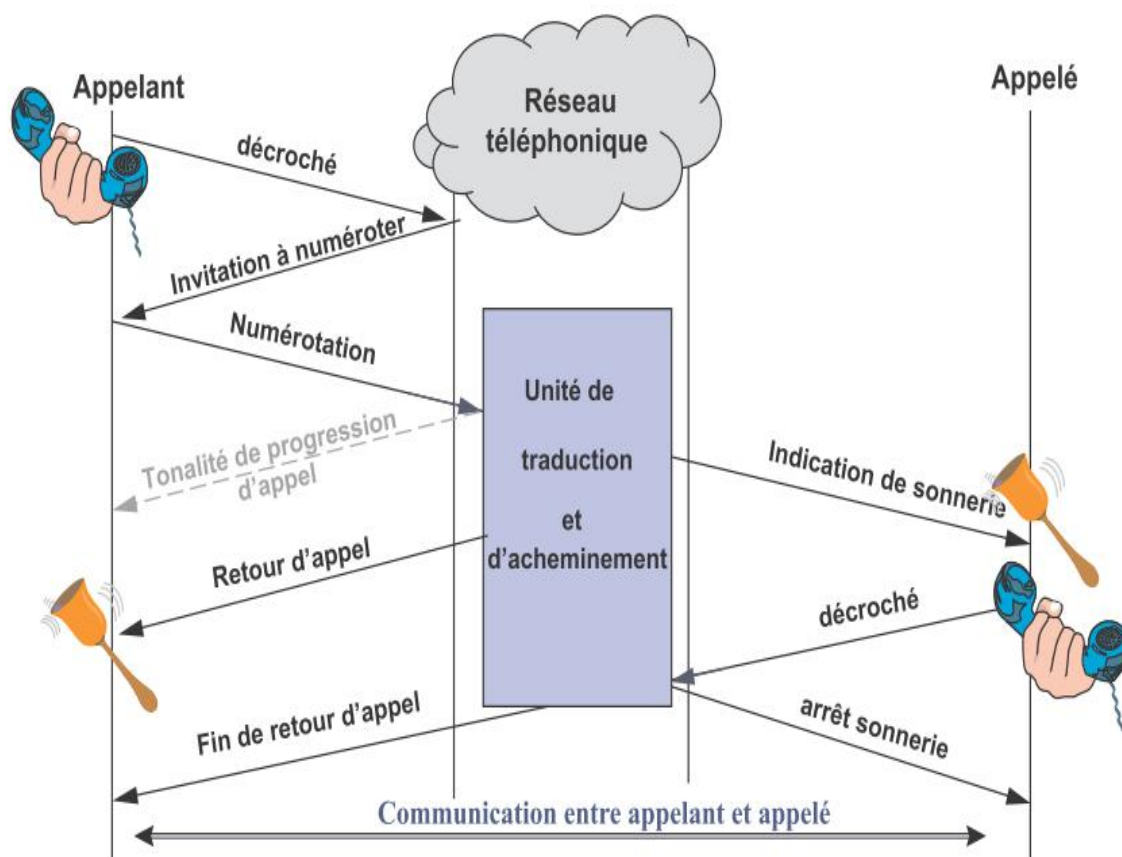


Figure I.15. Diagramme d'une communication téléphonique.

1.5.2. Décrochage du combiné

Lorsque le téléphone n'est pas décroché, il est soumis à une tension continue d'environ 48 V venant du central.

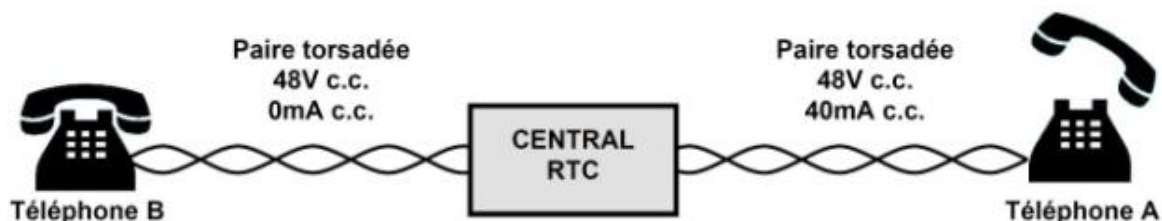


Figure I.16. Décrochage du combiné A

Au repos, l'impédance présentée par le poste est associée au circuit de sonnerie dans lequel est inséré un condensateur qui empêche la circulation d'un courant continu. Dans l'attente d'un appel, les postes étant soumis à une tension continue ne consomment aucun courant.

Lorsque l'on décroche le combiné du poste (A), le commutateur se ferme, alors le poste présente une impédance assez faible et consomme un courant continu de l'ordre de 40 mA, signalant ainsi son souhait au central d'établir une communication, c'est la prise de ligne.

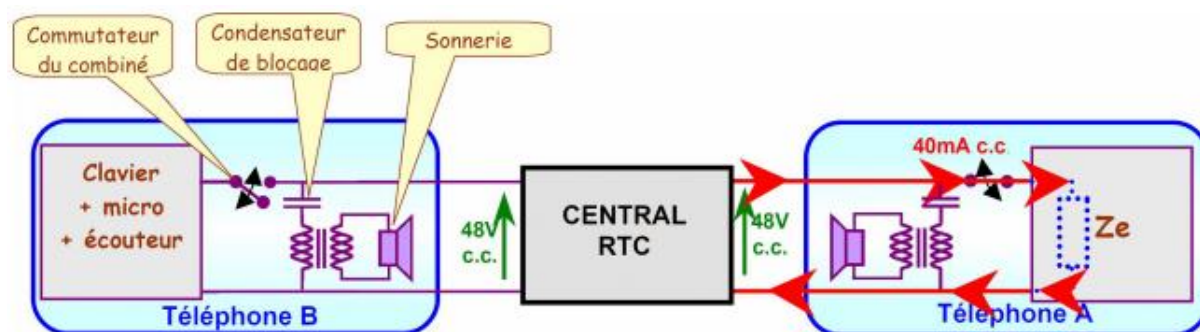


Figure I.17. Poste téléphonique A est décroché

1.5.3. Tonalité

Après la fermeture du commutateur du combiné, le central du réseau public acquitte la demande de connexion en superposant à la tension continue, un signal sinusoïdal de 440 Hz, c'est l'invitation à numéroté : la tonalité.

Les auto-commutateurs privés fournissent une tonalité de fréquence égale à 330 Hz. On perçoit ce changement lors de la composition du « 0 » pour émettre un appel sortant.

1.6. Commutateurs

Les commutateurs, jadis manuels et aujourd'hui automatiques (autocommutateurs), constituent les nœuds du réseau téléphonique. Leur rôle est d'aiguiller les communications téléphoniques vers les destinations demandées. On distingue les commutateurs d'abonnés et les commutateurs de transit, certains commutateurs peuvent assurer les deux fonctions à la fois.

1.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons défini le réseau téléphonique commuté (RTC). Premièrement, nous avons présenté en détail l'architecture et les deux parties du réseau RTC, réseau local et réseau dorsal. Deuxièmement, nous avons présenté le principe de fonctionnement des postes téléphoniques (à cadran et à clavier) ainsi que le principe du raccordement des abonnés. Dernièrement, les types de commutateur du réseau RTC ont été présentés.

Chapitre II:

Supports de transmission

2.1. Introduction

Dans un système de communication, l'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte et les solutions logicielles à mettre en œuvre dépendent largement des supports de transmission utilisés. On peut classer les supports de transmission selon le type de l'information à transmettre :

- Forme électrique : paire torsadée et câble coaxial, ...
- Forme lumière : fibre optique,
- Forme électromagnétique : faisceaux hertziens et guide d'onde.

Généralement, on peut classer les supports de transmission selon le mode de propagation :

- Support guidé : câble de cuivre, fibre optique et les guide d'onde,
- Support libre : faisceaux hertziens.

La complexité des systèmes provient généralement du fait qu'une liaison peut emprunter différents supports. Le système de transmission devra alors réaliser l'adaptation du signal à transmettre au support utilisé. Les caractéristiques des supports diffèrent selon la nature physique du support et le mode de propagation choisi. Cependant, certaines caractéristiques sont communes à tous les types de support (bande passante...), d'autres sont spécifiques (impédance caractéristique...).

2.2. Caractéristiques des supports de transmission

2.2.1. Bande passante

L'impulsion électrique est affaiblie et déformée par le système de transmission (Figure II.1).



Figure II.1. Déformation du signal par un support de transmission.

À l'extrémité de la ligne, le récepteur doit identifier et décoder le signal. Cette fonction ne peut valablement être réalisée que si le signal n'a pas été exagérément modifié pendant la transmission. Ces modifications dépendent d'une part de la nature du signal (spectre du signal) et d'autre part, de la réponse en fréquence du système (bande passante).

Les systèmes de transmission (lignes, amplificateurs...) ne transmettent pas toutes les harmoniques du signal de façon identique. Les signaux sont transmis avec une distorsion faible jusqu'à une certaine fréquence appelée fréquence de coupure. Au-delà de cette fréquence, toutes les harmoniques sont fortement atténuées.

On appelle bande passante (Figure II.2) l'espace de fréquences tel que tout signal appartenant à cet intervalle, ne subisse, au plus, qu'un affaiblissement déterminé par rapport à un niveau de référence.

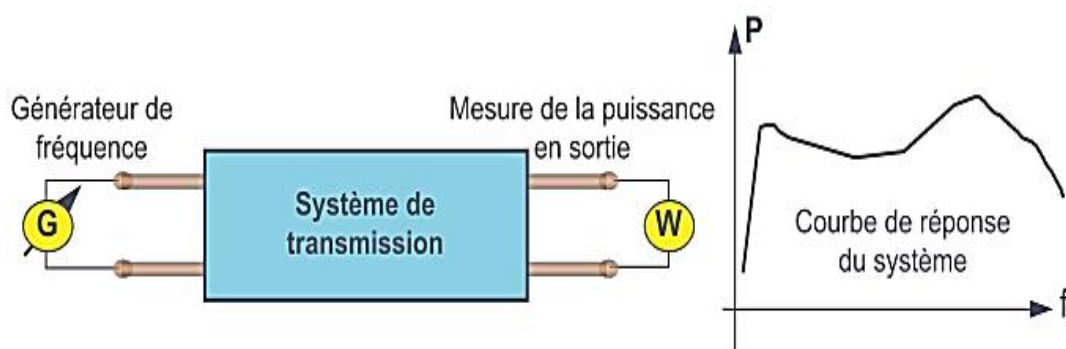


Figure II.2. Tracé de la bande passante d'un système.

L'affaiblissement, exprimé en décibel (dB), est donné par la relation :

$$A = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad (1.1)$$

P1 : puissance du signal de référence, P2 : puissance du signal en sortie.

La bande passante est généralement définie pour une atténuation en puissance de moitié, ce qui correspond à -3 dB (Figure II.3).

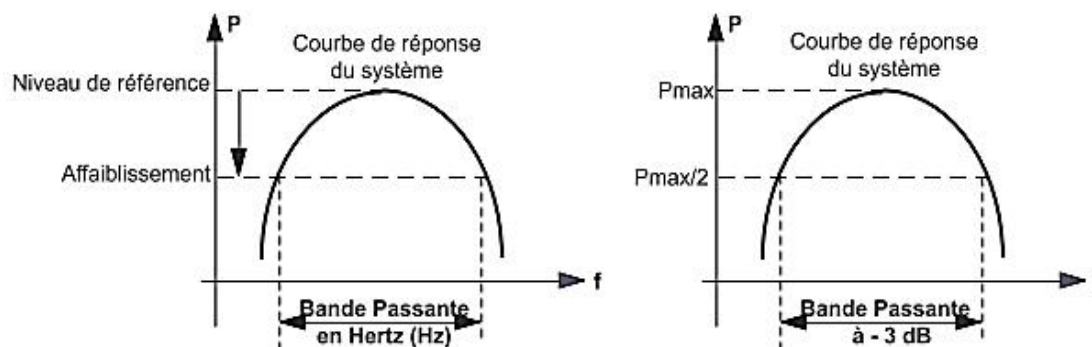


Figure II.3. Bande passante

Note :

La largeur de bande d'un signal correspond à la bande passante minimale que le système doit posséder pour restituer correctement l'information. Ainsi, la bande passante qualifie le système, et la largeur de bande qualifie le signal.

Notons que le terme de bande passante est utilisé non seulement pour désigner un espace fréquentiel (Bande Passante ou BP en Hz), mais aussi pour qualifier le débit binaire d'un système (Bande Passante exprimée en bit/s).

2.2.2. Impédance caractéristique

Une ligne de transmission est constituée de deux conducteurs de cuivre séparés par un isolant. La Figure II.4 modélise un élément d'une ligne en matérialisant ses composantes physiques.

Elle présente au courant électrique un effet résistif (R) responsable de l'atténuation du signal, des effets réactifs qui se décomposent en effet selfique (L) et en effet capacitif (C), et enfin la conductance (G) qui exprime la perte par effet résistif entre les deux conducteurs (généralement négligeable).

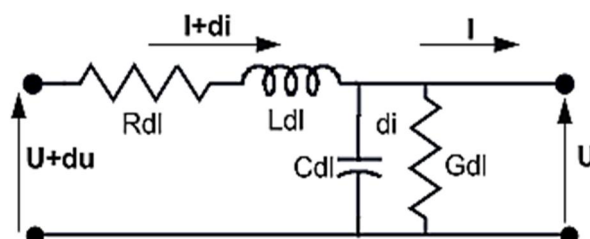


Figure II.4. Schéma équivalent d'un élément (dl) d'une ligne de transmission.

Le rapport du/di pour une ligne supposée de longueur infinie s'appelle impédance caractéristique notée Z_c :

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + jLw}{G + jCw}} \quad (1.2)$$

avec w est la pulsation du courant exprimée en radian/s est donnée $w = 2\pi f$, et f en Hz c'est la fréquence du signal.

Z_c , ou impédance caractéristique, est l'impédance d'une ligne de longueur infinie. On montre (voir la Figure II.5) qu'une ligne de longueur finie refermée sur un récepteur, dont l'impédance Z_r est telle que $Z_r = Z_c$, se comporte comme une ligne de longueur infinie. Le transfert de puissance est maximum entre le générateur et le récepteur. La ligne est dite adaptée (adaptation d'impédance).



Figure II.5. Notion d'adaptation d'impédance.

2.2.3. Coefficient de vitesse

Le coefficient de vitesse est une grandeur qui mesure la vitesse de propagation d'un signal dans un support. C'est le rapport entre la vitesse de propagation réelle et la vitesse de la lumière ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s). Pour les câbles à cuivre, il vaut environ 0,7.

$$V = v \cdot c \quad (1.3)$$

V : vitesse de propagation réelle du courant en m/s

v : coefficient de vitesse

c : célérité ou vitesse de la lumière.

2.3. Les différents supports de transmission

2.3.1. Paire torsadée

La paire torsadée ou symétrique est constituée de deux conducteurs identiques torsadés. Les torsades réduisent l'inductance de la ligne (L). Généralement plusieurs paires sont regroupées sous une enveloppe protectrice appelée gaine pour former un câble.

Les câbles contiennent 1 paire, 4 paires (réseaux locaux), ou plusieurs dizaines de paires (câble téléphonique).



Figure II.6. Paire torsadée

a) Caractéristiques

Impédance caractéristique, bande passante et atténuation sont les caractéristiques essentielles des paires torsadées. Cependant, compte tenu de la proximité des différentes paires dans un câble, un phénomène spécifique apparaît : la diaphonie (Figures II.7 et II.8).

La diaphonie, due au couplage inductif entre paires voisines, correspond au transfert du signal d'un câble à un autre. Elle limite l'utilisation de la paire symétrique à de faibles distances.

Les câbles ont été répartis en différentes catégories selon les spécifications auxquelles ils répondent. Le tableau suivant classe les différents types de câble et indique leur utilisation.

Table II.1. Différents types de câble (Paire torsadée).

Catégorie	Classe	Bande passante
1 et 2	A, B	
3	C	16 MHz
4	D	20 MHz
5	D	100 MHz
6	E	250 MHz
7		600 MHz

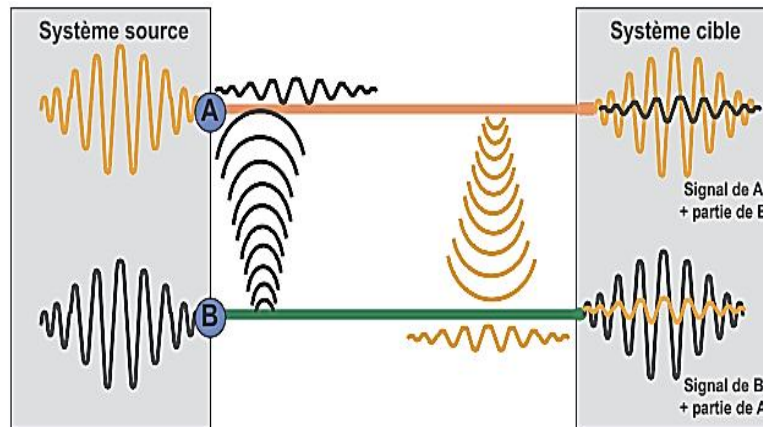


Figure II.7. Couplage inductif entre paires (Diaphonie).

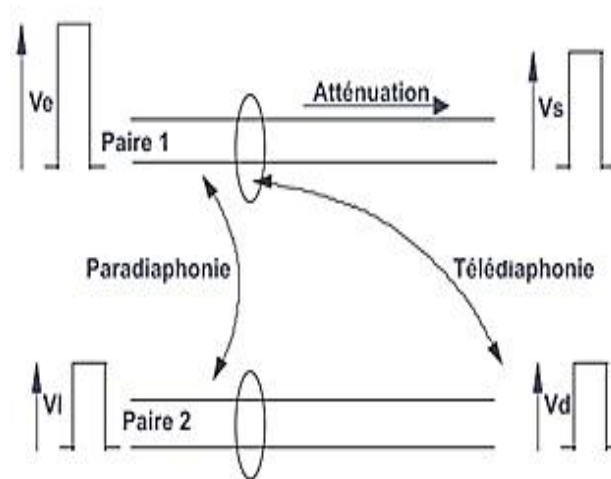


Figure II.8. Para-diaphonie et Télé-diaphonie.

Atténuation :

$$A = 20 \log_{10} \left(\frac{V_s}{V_e} \right) \quad (1.4)$$

Para-diaphonie :

$$P = 20 \log_{10} \left(\frac{V_l}{V_e} \right) \quad (1.5)$$

Télé-diaphonie :

$$T = 20 \log_{10} \left(\frac{V_d}{V_e} \right) \quad (1.6)$$

Avec

V_s : La tension en sortie

V_e : La tension du signal d'entrée

V_l : La tension locale induite

V_d : La tension distante induite

2.3.2. Câble coaxial

Un câble coaxial (Figure II.9) est constitué de deux conducteurs concentriques maintenus à distance constante par un diélectrique. Le conducteur extérieur, tresse métallique en cuivre recuit appelée blindage, est mis à la terre. L'ensemble est protégé par une gaine isolante.

Le câble coaxial possède des caractéristiques électriques supérieures à celles de la paire torsadée. Il autorise des débits plus élevés et est peu sensible aux perturbations électromagnétiques extérieures. Le taux d'erreur sur un tel câble est d'environ 10^{-9} .

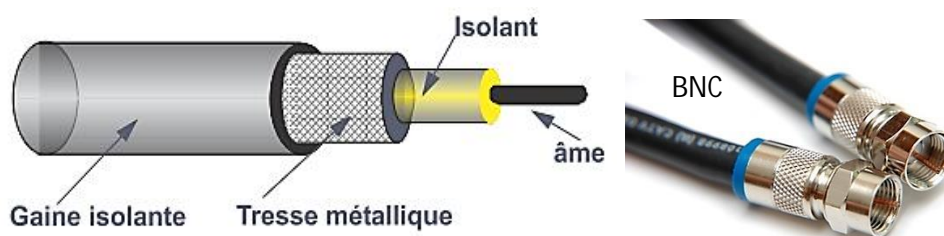


Figure II.9. Câble coaxial.

En transmission numérique, notamment dans les réseaux locaux, on utilise des câbles d'impédance 50Ω à des débits pouvant atteindre 10 Mbit/s sur des distances de l'ordre du kilomètre.

En transmission analogique, le câble coaxial est utilisé pour réaliser des liaisons longues distances. Son impédance est de 75Ω . Ce câble, similaire au câble coaxial utilisé en télévision, est souvent dénommé câble CATV. La bande passante est d'environ 300 à 400 MHz.

2.3.3. Fibre optique

Une fibre optique est un fil dont l'âme, très fine, en verre ou en plastique a la propriété de conduire la lumière et sert pour la fibroscopie, l'éclairage ou la transmission de données numérique.

Elle offre un débit d'information nettement supérieur à celui des câbles coaxiaux et peut servir de support à un réseau « large bande » par lequel transitent aussi bien la télévision, le téléphone, la visioconférence ou les données informatiques.

Dans les laboratoires de l'entreprise américaine Corning Glass Works (actuelle Corning Incorporated) en 1970 qui développent une fibre optique utilisable pour les télécommunications.

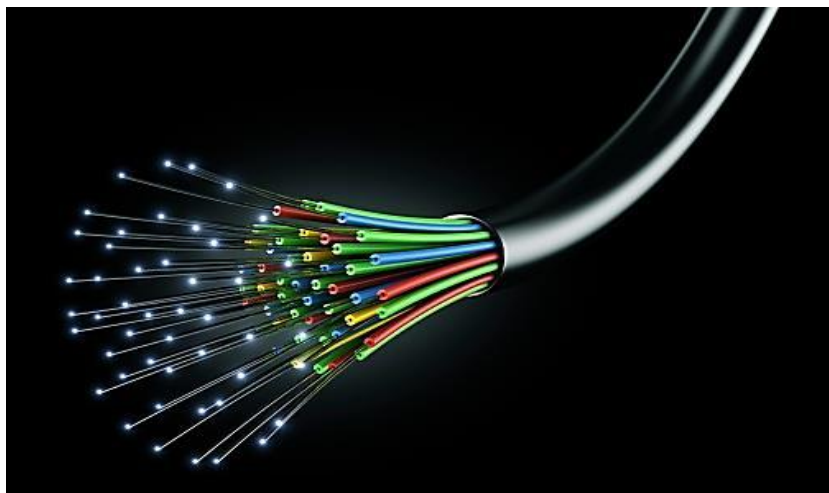


Figure II.10. Fibre optique

Un système de transmission par fibre optique met en œuvre (Figure II.11) :

- Emetteur de lumière (transmetteur), constitué d'une diode électroluminescente (LED, Light Emitting Diode) ou d'une diode LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), qui transforme les impulsions électriques en impulsions lumineuses ;
- Récepteur de lumière, constitué d'une photodiode de type PIN (Positive Intrinsic Négative) ou de type PDA (à effet d'avalanche) qui traduit les impulsions lumineuses en signaux électriques ;
- Fibre optique.

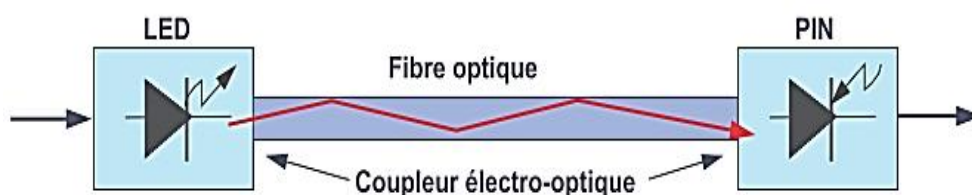


Figure II.11. Principe d'une liaison optique.

La puissance émise par une LED est peu élevée (~ 1 mW) et, seul un faible pourcentage de cette puissance est récupéré à la sortie d'une fibre optique. Une LED à une bande passante de 100 MHz. Pour les liaisons à haut débit on lui préfère les diodes laser. Ces dernières autorisent une puissance à l'émission voisine de 5 mW

avec un rendement de couplage d'environ 50 %, une diode laser permet une largeur de bande de 800 MHz.

La fibre étant un système de transmission unidirectionnel, une liaison optique nécessite l'utilisation de 2 fibres. La Figure II.12 montre la réalisation de coupleurs optiques pour interconnecter deux réseaux locaux.

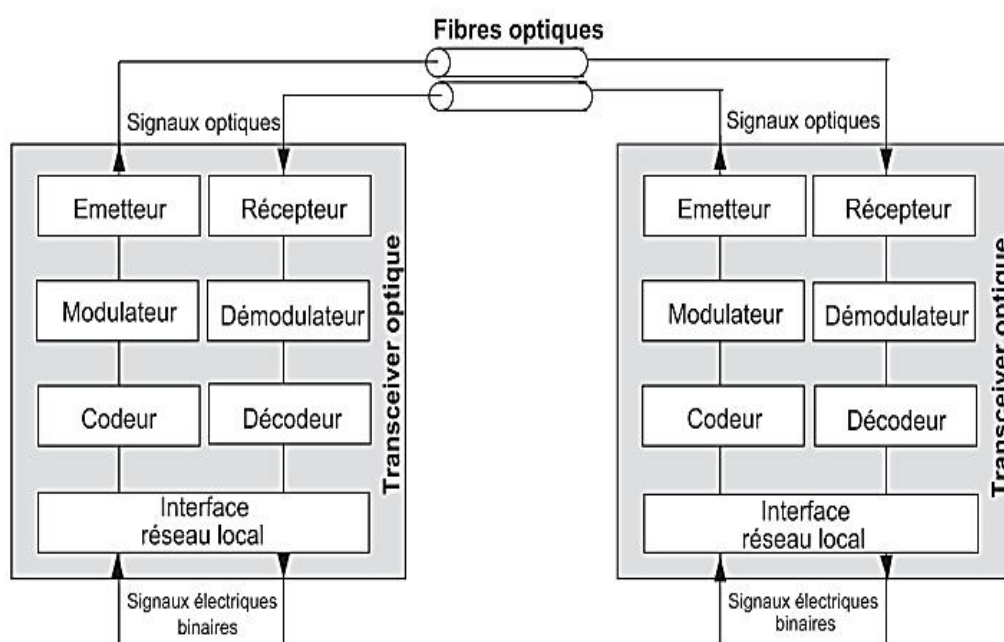


Figure II.12. Interconnexion de 2 réseaux locaux par fibre optique.

Les fibres optiques peuvent être classées en deux catégories selon le diamètre de leur cœur et la longueur d'onde utilisée :

2.3.3.1. Fibre multi-modes

Les fibres multi-modes (dites MMF, pour Multi Mode Fiber), ont été les premières sur le marché. Elles ont pour caractéristique de transporter plusieurs modes (trajets lumineux). Du fait de la dispersion modale, on constate un étalement temporel du signal proportionnel à la longueur de la fibre. En conséquence, elles sont utilisées uniquement pour des bas débits ou de courtes distances.

i) Fibres à saut d'indice

Dans les fibres à saut d'indice, le cœur d'indice n_1 est entouré d'une gaine d'indice n_2 . La variation d'indice entre le cœur et la gaine est brutale (saut d'indice). La propagation s'y fait par réflexion totale à l'interface cœur/gaine.

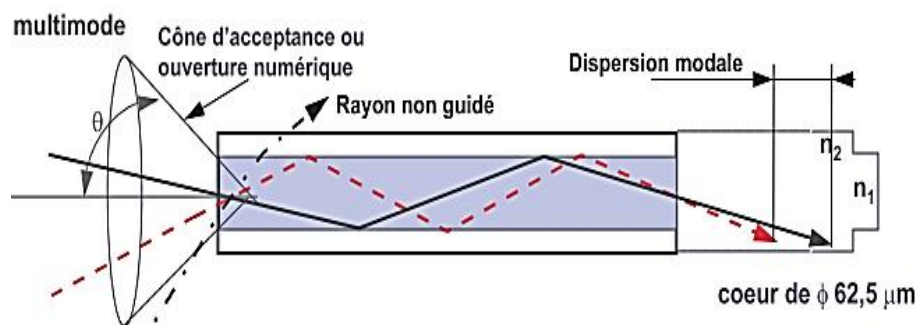


Figure II.13. Fibre optique multi-mode à saut d'indice

ii) Fibres à gradient d'indice

Un compromis a été trouvé avec les fibres à gradient d'indice, l'indice du cœur décroît de façon continue, depuis le centre du cœur jusqu'à l'interface cœur/gaine.

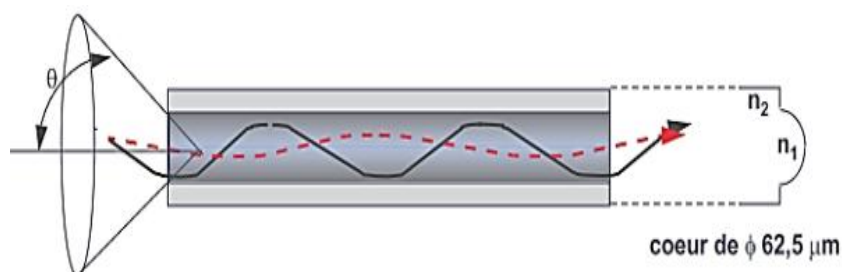


Figure II.14. Fibre optique multi-mode à gradient d'indice

2.3.3.2. Fibre monomode

Pour de plus longues distances et/ou de plus hauts débits, on préfère utiliser des fibres monomodes (dites SMF, pour Single Mode Fiber), qui sont technologiquement plus avancées car plus fines. Leur cœur très fin n'admet ainsi qu'un mode de propagation, le plus direct possible c'est-à-dire dans l'axe de la fibre. Les pertes sont donc minimales (moins de réflexion sur l'interface cœur/gaine) que cela soit pour de très hauts débits et de très longues distances. Les fibres monomodes sont de ce fait adaptées pour les lignes intercontinentales (exemple : câbles sous-marin). Une fibre monomode n'a pas de dispersion intermodale.

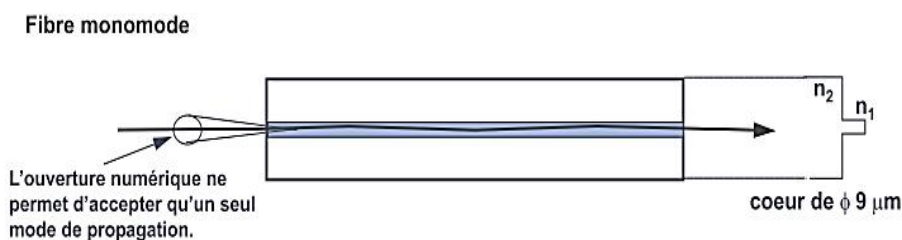


Figure II.15. Fibre optique mono-mode.

Note : Les performances des fibres optiques sont :

- Bande passante importante ;
- Immunité électromagnétique ;
- Faible taux d'erreur ;
- Faible affaiblissement (0,2 à 0,5 dB/km) ;
- Faible encombrement et poids ;
- Vitesse de propagation élevée (monomode) ;
- Sécurité (absence de rayonnement à l'extérieur);

2.3.4. Faisceaux hertziens

2.3.4.1. Principe

Un conducteur rectiligne alimenté en courant haute fréquence ou radiofréquence peut être assimilé à un circuit oscillant ouvert. Un tel circuit ou antenne d'émission rayonne une énergie (onde électromagnétique). Cette énergie électromagnétique recueillie par un autre conducteur distant ou antenne de réception est transformée en un courant électrique similaire à celui d'excitation de l'antenne d'émission. La Figure II.16 illustre le principe d'une liaison radioélectrique.

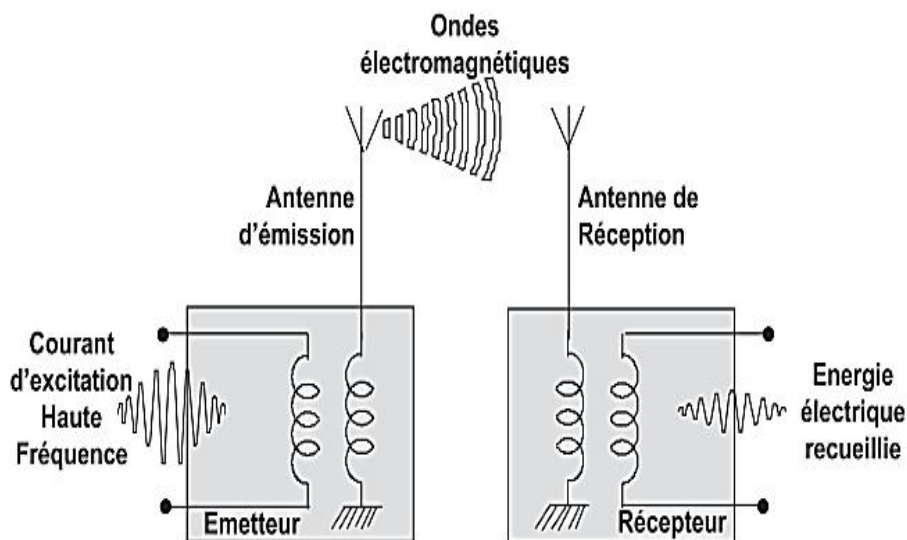


Figure II.16. Principe d'une liaison radioélectrique.

Les ondes radioélectriques peuvent, dans certains cas, remplacer avantageusement les liaisons filaires (cuivre ou optique). Les faisceaux hertziens ou câbles hertziens, par analogie aux réseaux câblés peuvent être analogiques ou numériques. Les débits peuvent atteindre 155 Mbit/s.

2.3.4.2. Utilisations

Ils sont principalement utilisés pour des réseaux :

- de téléphonie (multiplexage fréquentiel ou temporel),
- de transmission de données,
- de diffusion d'émissions télévisées.

Pour diminuer les puissances d'émission, la technique des faisceaux hertziens utilise des antennes très directives. L'antenne réelle est placée au foyer optique d'une parabole qui réfléchit les ondes en un faisceau d'ondes parallèles très concentré, limitant ainsi la dispersion de l'énergie radioélectrique.

En réception, l'antenne est aussi placée au foyer optique de la parabole. Tous les rayons reçus parallèlement à l'axe optique de la parabole sont réfléchis vers le foyer optique, on recueille ainsi, le maximum d'énergie. Les faisceaux hertziens utilisent les bandes de 2 à 15 GHz.

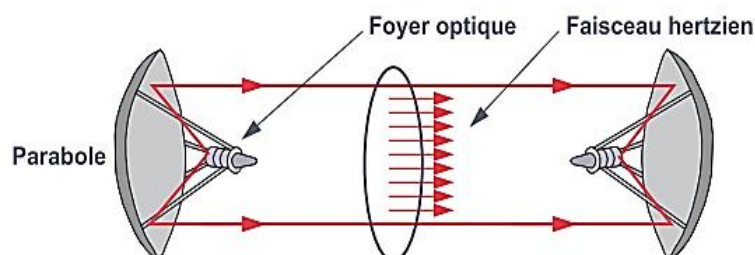


Figure II.17. Principe d'une transmission par faisceau hertzien.

Les distances franchissables, par les systèmes de transmission hertzienne directe, peuvent atteindre 100 km. Pour couvrir des distances plus importantes, il faut disposer des relais. Les relais peuvent être :

- passifs**; il s'agit de simples réflecteurs utilisés pour guider l'onde, ou
- actifs**, le signal recueilli est remis en forme, amplifié puis retransmis.

Les faisceaux hertziens sont sensibles aux perturbations atmosphériques et aux interférences électromagnétiques. Une infrastructure hertzienne repose sur l'existence de canaux de secours qu'ils soient hertziens ou filaires.

Note : Les liaisons infrarouges et lasers constituent un cas particulier des liaisons hertziennes. Elles sont généralement utilisées, pour interconnecter deux réseaux privés, sur de courtes distances, de l'ordre de quelques centaines de mètres.

2.4. Conclusion

Dans ce chapitre, une introduction aux supports de transmission a été présentée. L'objectif était double, d'une part pour rappeler des caractéristiques d'un support de transmission et d'autre part pour présenter les différents types des supports. Ces dernières peuvent être filaires (câbles coaxiaux, paires torsadées, fibres optiques) ou sans fil. Dans un souci purement pédagogique, nous allons guider progressivement le lecteur à comprendre facilement les concepts liés aux réseaux de communication (fixe et mobile) et nous présenterons les architectures ainsi que les caractéristiques de chaque réseau dans les chapitres suivants.

Chapitre III :

Téléphonie numérique cellulaire

3.1. Introduction

Un mobile communique par l'espace radio avec une station fixe (station de base). Pour que cet échange se passe correctement il faut qu'il y ait un premier dialogue entre les deux permettant d'une part la synchronisation des messages et d'autre part pour estimer le canal et établir les fréquences et la puissance d'émission correspondantes qu'ils utiliseront lors de la communication. Les stations de base émettent régulièrement des appels aux mobiles qui souhaiteraient établir une communication et scrutent en permanence un canal de communication où les mobiles donnent leur requête.

Dans le cas où la station de base dispose des canaux disponibles, elle indique au mobile les fréquences qui seront utilisées pour la communication. Un mobile (M) peut établir le contact avec plusieurs stations de base. Celles-ci échangent entre elles les informations nécessaires pour décider de la station avec laquelle le mobile va communiquer. Ce sera en principe la station qui reçoit les signaux de meilleure qualité (niveau de réception plus élevé, niveau de bruit plus faible, etc.). Cette station indique au mobile les fréquences qui seront utilisées lors de la suite de la communication.

3.2. Réseaux mobile

3.2.1. Concept cellulaire

Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (50 km de rayon) et d'émission de forte puissance (8W) au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission).

Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles.

La première amélioration consista à allouer un canal de communication à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin permettant ainsi d'augmenter le nombre d'abonnés.

De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilise donc le spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale. C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC) à laquelle on associe un certain nombre de fréquences.

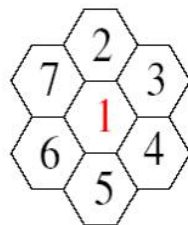


Figure III.1. Motif élémentaire contient sept cellules

Une cellule se caractérise :

- i) par sa puissance d'émission.
- ii) par la fréquence de porteuses utilisées pour l'émission radioélectrique
- iii) par le réseau auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :

- i) du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone,
- ii) de la configuration du terrain (plateau, montagnes, ...),
- iii) de la nature des constructions (maisons, pavillons, immeubles en béton, ...)
- iv) de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine).

Note :

Dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau.

3.2.2. Handover

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle. Cependant, en fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. De plus, afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%. Un utilisateur sera donc affecté à la station de base couvrant la cellule dans laquelle il se trouve et qui permet d'améliorer le rapport signal à bruit. Lorsque l'utilisateur passe d'une cellule à une autre, la communication ne doit pas être interrompue, mais la gestion de l'appel passe d'une BTS à une autre. Il s'agit du Handover.

Le volume de signalisation est un problème posé par la mobilité de l'utilisateur. En effet, garder en permanence une trace de la position de chaque mobile allumé requiert un énorme flux de signalisation. Pour diminuer ce volume, le réseau ne cherchera pas à savoir à tout moment dans quelle cellule exactement se situe un terminal mobile. Il définit des sous-ensembles de l'ensemble des cellules, appelée zones de localisation (LAC : Location Area Code), et se contente de savoir dans laquelle se trouve chaque utilisateur actif.

Lorsque le mobile quitte ce sous-ensemble, c'est lui qui va provoquer une mise à jour de localisation dans les registres du réseau. Le réseau ne connaît donc souvent que la localisation approximative d'un mobile et lorsqu'il doit l'atteindre, il fait un appel en diffusion, c'est-à-dire qu'il émet un appel contenant un identifiant du mobile sur toutes les cellules de la zone de localisation. Le mobile qui reconnaît son identifiant peut alors signaler sa position. Cette procédure d'appel en diffusion est appelée paging.

3.2.3. Réutilisation des fréquences

Par rapport au système de première génération, les cellules étant de taille plus petite, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la capacité de son réseau. En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence. Il y a toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leur taille (exemple : macro, micro, pico, ...).

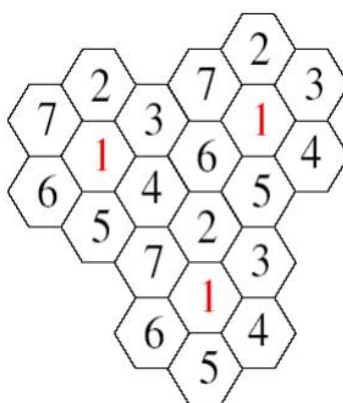


Figure III.2. Réutilisation des fréquences dans trois motifs du réseau mobile

Pour éviter les interférences entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est préconisé d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus du contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse. En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base.

3.2.4. Communication entre les deux réseaux mobile et RTC

La gestion du Handover et de l'itinérance nécessite des équipements particuliers qui ne sont pas présents dans les réseaux téléphoniques classiques : commutateurs adaptés au mobile, bases de données spécifiques,.... Ces équipements et les stations de base, sont organisés en un réseau particulier PLMN (Public Land mobile Network).

Le réseau PLMN peut être vu comme un système qui assure un accès radio au réseau téléphonique RTC. Il est bien distinct de ce dernier auquel il est rattaché par des passerelles appropriées. De par la concurrence, il y a plusieurs PLMN déployées par des opérateurs différents.

Le PLMN comprend deux parties, un sous système radio et un sous système réseau. Le sous-système radio correspond à l'ensemble des stations de base qui couvre une cellule. Le sous-système réseau peut être vu comme un réseau téléphonique spécifique avec des commutateurs adaptés (MSC ou Mobile-services Switching Center), des passerelles vers le RTC et des bases de données locales ou centrales.

3.2.5. Capacité d'un réseau

La capacité est le trafic maximum que peut écouler une cellule en fonction du nombre de fréquences qui lui sont attribuées, le trafic étant fonction du nombre moyen de personnes qui communiquent et de la durée moyenne d'une communication.

3.2.6. Infrastructure du réseau mobile

Le réseau mobile se décompose en deux parties distinctes :

- i) Réseau d'accès radio (RAN : Radio Accès Network) qui gère l'accès et les communications avec les mobiles.
- ii) Réseau cœur (CN : Core Network) qui représente les passerelles entre le réseau radio et l'infrastructure existante concernant les systèmes de téléphonies et de données.

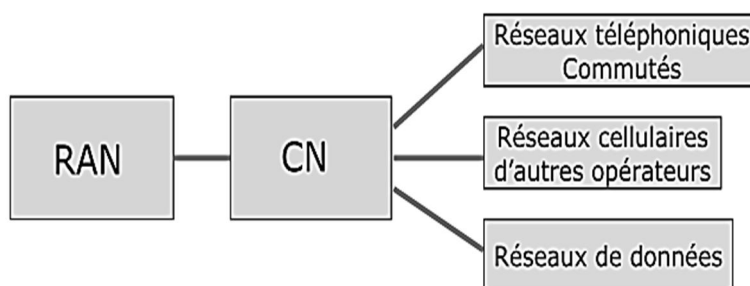


Figure III.3. Infrastructure du réseau mobile

3.2.7. Problèmes liés à la propagation des ondes radio

Le canal de transmission radio est l'un des médias de communication les plus variables. En parcourant le trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Ces dégradations se traduisent en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système.

Les dégradations du signal dues à la propagation en environnement radio peuvent être classées en différentes catégories :

- i) Pertes de propagations dues à la distance parcourue par l'onde radio, ou affaiblissement de parcours (pathloss).
- ii) Atténuation de puissances du signal dues aux effets de masques (shadowing) provoqués par les obstacles rencontrés par le signal sur le trajet parcouru entre l'émetteur et le récepteur.
- iii) Evanouissement (fading) dans la puissance du signal dus aux nombreux effets induits par le phénomène de multi-trajets.
- iv) Brouillages dus aux interférences (co-canal adjacent) créées par d'autres émissions. Ce type de perte est très important dans les systèmes de réutilisation de fréquences.
- v) Brouillage dus au bruit ambiant provenant d'émissions d'autres systèmes.

3.2.7.1. Distorsion en amplitude (Fading de Rayleigh)

La transmission entre un émetteur et récepteur subit de multiples réflexions. Le signal reçu par le récepteur est la somme vectorielle du signal incident avec l'ensemble des signaux réfléchis.

En fonction de sa position, un mobile verra donc la puissance reçue varier. Le contrôle automatique de gain (CAG) corrigera ces variations afin que le démodulateur ait toujours la même puissance en entrée. Mais le CAG amplifiera également le bruit. Dans ces conditions, le SNR (rapport signal sur bruit) varie et le passage au niveau d'un nœud peut augmenter le taux d'erreurs, jusqu'à la perte de la communication (évanouissement).

Note:

Ces phénomènes, paraissent être un inconvénient majeur. Mais en réalité, sans réflexions, les communications téléphoniques mobiles ne pourraient avoir lieu en ville. En effet, il est rarement possible d'être en visibilité directe avec un émetteur, celui-ci pouvant être occulté par un bâtiment. Dans ce cas, il suffit de recevoir un écho, ou une somme d'échos, suffisamment réfléchis par un autre bâtiment.

3.2.7.2. Distorsion en fréquence (effet Doppler)

Un mobile ayant une vitesse v dans le sens de propagation d'une onde sinusoïdale, reçoit un signal sinusoïdal dont la fréquence est décalée par rapport à la fréquence émise.

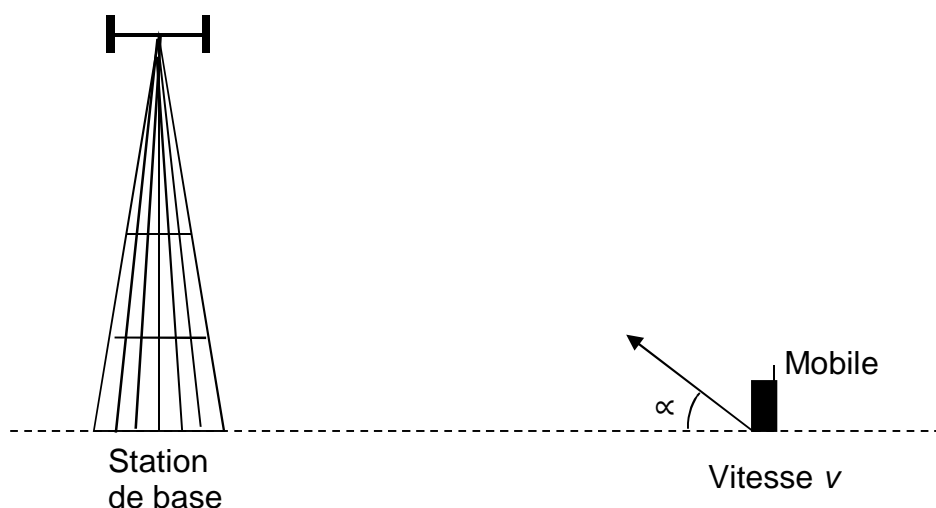


Figure III.4. Déplacement d'un mobile avec une vitesse v vers la station de base.

La relation de la fréquence reçue est donnée par :

$$F_{reçu} = F_{émise} \left(1 + \frac{v}{c} \cos(\alpha) \right) \quad (3.1)$$

Plus le mobile va vite, et plus le décalage est important. Il en résulte, vu du récepteur, que la fréquence porteuse ne paraît pas stable. En général, l'utilisation d'une PLL lors de la démodulation, permet de suivre ces variations de fréquence.

Le phénomène est encore plus compliqué en réalité. La réception étant composée d'une multitude de signaux réfléchis, le décalage en fréquence dépend de la vitesse relative du mobile par rapport à chacune des directions des réflexions. Le décalage en fréquence est donc différent pour toutes les réflexions.

Le décalage en fréquence reste relativement faible en général, mais dans le cas d'une transmission en bande étroite, il peut être gênant en faisant sortir la bande utilisée du canal alloué. Dans le cadre d'une modulation de fréquence, il faudra choisir une excursion en fréquence suffisamment importante par rapport au décalage Doppler possible.

3.2.7.3. Affaiblissement de propagation

Comme pour toute liaison hertzienne, plus la distance est importante, plus la puissance est faible. La puissance reçue est proportionnelle à la puissance émise, et inversement proportionnelle au carré de la distance (Formule de Friiz):

$$P_R = P_E G_R G_E \left(\frac{\lambda}{4 \pi d} \right)^2 \quad (3.2)$$

P_R : Puissance reçue,
 P_E : Puissance émise,
 G_E : Gain à l'émission,
 G_R : Gain à la réception,
 λ : Longueur d'onde,
et d : Distance Emetteur-Récepteur

Pour avoir une bonne qualité de transmission, il est nécessaire que la puissance reçue soit suffisante. Dans ce cas, on dispose de deux solutions :

- i) Choisir la puissance pour quel que soit la distance, le taux d'erreurs soit toujours inférieur à un seuil admissible. Dans ce cas, la puissance émise sera toujours forte, ce qui limite l'autonomie d'un mobile rechargeable, et risque de perturber les autres mobiles voisins.
- ii) La seconde solution consiste à régler en permanence la puissance émise en fonction de la distance. Ainsi, on optimise l'autonomie, ainsi que la réutilisation de fréquence dans les zones voisines au prix d'une plus grande complexité. C'est la solution généralement adoptée.

3.2.7.4. Retard de transmission

Le retard entre l'émission et la réception est variable en fonction de la distance entre le mobile et la station de base.

$$\tau = d / c \quad (3.3)$$

Ce retard, s'il est trop important, peut entraîner trois problèmes :

- i) Le premier problème se rencontre au niveau de la modulation. On montre qu'un retard variable du signal peut apporter un déphasage variable de la porteuse.
- ii) Le deuxième est lié au multiplexage. L'utilisation du TDMA, peut être perturbée si tous les intervalles de temps ne sont pas décalés du même retard.
- iii) Le dernier problème est rencontré au niveau de la détection des bits transmis. Il est important de savoir où commence et où finit l'information.

3.2.7.5. Interférences dans la transmission

On peut citer :

D'autres mobiles, ou d'autres types de transmission (exp : TV) peuvent utiliser des bandes de fréquences voisines de celle utilisée par une communication mobile. Si la puissance émise déborde sur d'autres canaux, la communication peut être brouillée.

Un mobile plus ou moins lointain, dans le cadre de réseaux cellulaires peut utiliser la même fréquence porteuse qu'un autre mobile. Dans ce cas, les deux mobiles peuvent se brouiller mutuellement.

Si deux émetteurs sont très proches l'un de l'autre dans l'espace, les signaux émis peuvent se mélanger à l'intérieur du modulateur même si les fréquences sont très différentes. On obtient alors des signaux ayant des fréquences correspondant à la somme et la différence des fréquences des deux émetteurs.

3.2.8. Qualité de service

3.2.8.1. Gérer la mobilité

Un mobile, non éteint, doit pouvoir être joint dans n'importe quelle zone couverte par son opérateur. Un mobile, en mouvement, doit pouvoir conserver une communication tant qu'il reste dans une zone couverte par un opérateur. Ce suivi de communication d'une cellule à une autre est appelé Handover.

3.2.8.2. Sécurité de la communication

Confidentialité : rendre impossible l'écoute abusive d'un mobile, sauf accord de l'opérateur avec l'état.

Sécurité de taxation : Connaître avec certitude l'identité d'un mobile et interdire l'utilisation d'un service sur le compte d'un autre abonné.

3.2.8.3. Nombre d'abonnés dans la zone couverte

On distingue en général trois zones où la densité de communications est liée à la densité de population : zones urbaine, périurbaine et rurale. Il faut pouvoir assurer les communications pour les populations locales et itinérantes en minimisant le taux d'appels rejetés pour raison d'encombrement et le taux de communications coupées en cours de Handover.

3.2.8.4. Services supplémentaires

Les différents opérateurs ne cessent d'augmenter le nombre de services accessibles depuis un mobile en fonction du type d'abonnement. On peut citer les plus fréquents: annuaire, renvoie, restriction, répondeur enregistreur, messagerie de type pager, mail, diffusion d'information, connexion internet, ...

3.3. Système GSM

Le poste d'un abonné ou mobile permet l'accès au réseau radio. Ce terminal est appelé « station mobile » dans le cadre du système GSM. Une station mobile est à la fois un poste téléphonique sans fil sophistiqué et un terminal de données qui transmet et reçoit des messages du réseau.

La BTS (Base Transceiver Station) est l'équipement terminal du réseau vers les « stations mobiles ». Une BTS est un groupement d'émetteurs et de récepteurs fixes. Elle échange des messages avec les stations mobiles présentes dans la cellule qu'elle contrôle. La BTS utilise des canaux radio différents selon le type d'information échangés :

- i) Données utilisateur,
- ii) Signalisation.

et selon le sens de l'échange :

- i) Abonné vers réseau,
- ii) Réseau vers abonné.

L'échange des informations entre le mobile et la BTS se fait dans un canal radio. Ce canal est une bande de fréquence permettant une communication entre deux systèmes.

3.3.1. Structure générale du réseau GSM

3.3.1.1. Réseau d'accès radio du système GSM

Dans le réseau GSM, après la BTS, nous trouvons le contrôleur de station de base nommé « Base Station Controller » ou (BSC). Il dialogue avec une ou plusieurs BTS à haut débit (2 Mb/s). La communication peut être réalisée par un câble (ligne louée) ou par un faisceau hertzien consistant en une transmission par ondes radio à une fréquence très élevée (supérieure à 15 GHz dans le cas des opérateurs de téléphonie mobile). Cet équipement est à la fois un concentrateur du trafic issu des stations de base et une passerelle vers le sous-système réseau.

3.3.1.2. Réseau cœur du système GSM:

L'équipement suivant la BSC est le commutateur du réseau GSM, le « Mobile Switching Center » (MSC) : D'une part il interconnecte un réseau GSM avec le réseau téléphonique public RTC/RNIS, d'autre part, il est l'interface des bases de données du réseau GSM avec le sous-système radio.

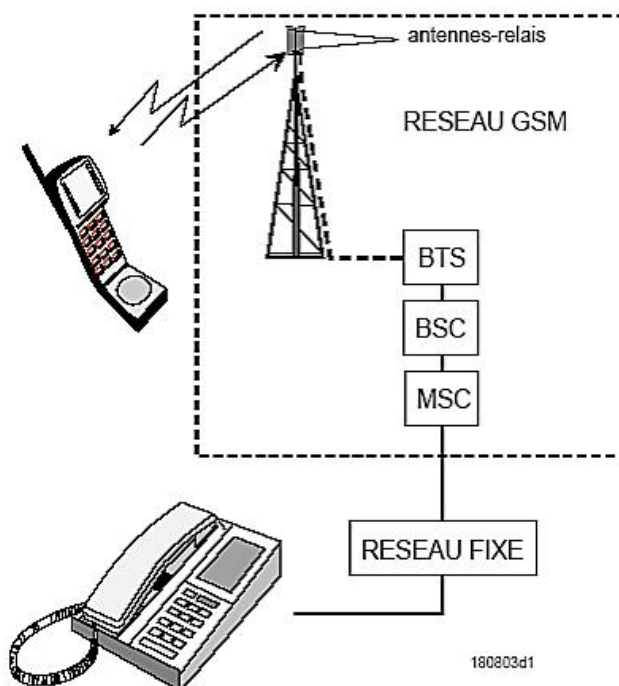


Figure III.5. Structure générale du Système GSM et la connexion avec RTC.

Le MSC agit essentiellement comme un commutateur qui constitue le nœud central du réseau de téléphonie mobile ; il est connecté au réseau de téléphonie fixe (RTC), ainsi qu'aux réseaux GSM des opérateurs concurrents.

Le MSC comporte des équipements informatiques qui gèrent l'acheminement des informations à travers le réseau GSM. C'est également le MSC qui permet de connaître, à tout moment, la localisation d'un téléphone mobile.

Note :

En principe, la connexion entre le MSC et le BSC est réalisée au moyen de câbles. Une communication entre un téléphone mobile GSM et un téléphone fixe transite donc via une BTS, un BSC, le MSC et le réseau fixe (RTC). De même, une communication entre deux téléphones mobiles X et Y passera par la BTS la plus proche du téléphone X, un BSC, le MSC, un second BSC, la BTS la plus proche du téléphone Y (le second BSC étant celui auquel la seconde BTS est reliée). Il est à noter qu'une communication entre deux téléphones mobiles très proches (abonnés d'un même opérateur) ne s'effectue jamais en « ligne directe », mais remonte toujours jusqu'à la BTS, le BSC et le MSC.

3.3.2. Bandes de fréquences

Les systèmes de téléphonie mobile GSM 900 et DCS 1800 (Digital communication system) fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz.

Dans le cas du réseau GSM 900, la bande de fréquences comprise entre 890 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais (BTS), tandis que la bande comprise entre 935 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers la BTS est appelée « voie montante » ou « up-link »; la transmission de BTS vers le téléphone mobile est appelée « voie descendante » ou « down-link ».

La communication entre le mobile et la BTS s'effectue toujours sur deux fréquences séparées de 45 MHz. Autrement dit, si la BTS envoie ses données à la fréquence f_1 , le mobile enverra ses données vers la BTS à la fréquence $f_1 - 45$ MHz.

Table III.1. Caractéristiques des systèmes GSM 900 et DCS 1800.

	GSM	DCS
Bande montante MS→BTS	890 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz
Bande descendante BTS→MS	935 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz
TDMA	8 slots	8 slots
Ecart duplex	45 MHz, 3 slots	95 MHz, 3 slots
Rapidité de modulation	271 k bauds	271 k bauds
Débit parole	13 k b/s	13 k b/s
Débit information	9.6 k b/s	9.6 k b/s

De plus, on décale de 3 slots la voie montante de la voie descendante d'une communication. Ainsi, l'émission et la réception pour le même mobile, se fait ni à la même fréquence, ni en même temps. Le duplexeur sera donc beaucoup plus simple à réaliser.

La fréquence utilisée pour la transmission est codée par un numéro. La numérotation des fréquences a été faite, afin d'intégrer dans la même norme les bandes GSM et DCS, ainsi que d'autres futures bandes de fréquences.

N représentant le numéro de la fréquence, est codé sur 10 bits $\in [1 ; 1024]$

$N \in [1 ; 124]$ la fréquence correspondante en MHz est $f = 935 + 0,2.N$ (Bande GSM)

$N \in [512 ; 885]$ $f = 1805 + 0,2.(N-512)$ (Bande DCS)

Les fréquences disponibles sont au nombre de 124 en GSM et 374 en DCS.

3.3.3. Modulation

L'émission d'une onde électromagnétique de forme purement sinusoïdale ne permet la transmission d'aucune information ; pour que ce soit possible, il faut faire varier un des paramètres caractérisant la sinusoïde ; cette sinusoïde est appelée « fréquence porteuse » ou simplement « porteuse ».

Les trois paramètres sur lesquels il est possible d'agir sont : l'amplitude, la fréquence ou la phase ; ce processus est appelé « modulation ».

Dans la modulation FSK (Frequency shift keying), la transmission des bits 0 et 1 correspond à l'émission de deux fréquences différentes.

Le réseau GSM utilise la modulation GMSK (Gaussian minimum shift keying) qui est une forme évoluée de la modulation FSK ; elle est réalisée en faisant passer le signal binaire, avant modulation, au travers d'un filtre passe-bas ; ce filtre passe-bas remplace les fronts montants et descendants par une transition progressive, ce qui diminue la largeur spectrale du signal modulé.

Il en résulte que, pour un même débit binaire, la modulation GMSK a comme avantage d'occuper une largeur de bande moins importante que la modulation FSK classique. Une porteuse GSM modulée occupe une largeur de 200 kHz et une rapidité de modulation de 271 kbauds.

3.3.4. Traitement de la parole

3.3.4.1. Filtrage

Afin de respecter le théorème de Shannon, la fréquence d'entrée de l'échantillonneur est limitée à 3,1kHz. Limite permettant de transmettre la parole avec une distorsion assez faible.

3.3.4.2. Echantillonnage

La parole est échantillonnée à 8kHz sur 13 bits. Le débit, alors de 104 k bits/s, peut paraître élevé. Il est cependant nécessaire afin de pouvoir réaliser une compression de qualité.

3.3.4.3. Compression

L'algorithme de compression de la parole est de type prédictif linéaire. La méthode utilisée est très complexe. Elle consiste à faire l'acquisition de 20ms de parole, ce qui permet d'obtenir 160 échantillons (8 kHz = 8000 échantillons par seconde soit 160 échantillons en 20 ms).

La norme GSM utilise un codeur dit LPC-RPE (Linear predictive coding and regular pulse excitation). Les échantillons sont stockés en mémoire par blocs de 160 échantillons de 13 bits (20 ms de parole) qui sont codés différemment. L'opération suivante consiste à fabriquer 4 blocs de 40 échantillons à partir des 160 de départ, en les entrelaçant:

Le premier bloc contient les échantillons 1, 5, 9, 13 ..., le deuxième les échantillons 2, 6, 10 ... et ainsi de suite. Le bloc ayant le plus d'énergie est le seul à être conservé par le codeur. C'est la première compression effective.

Une autre technique est ensuite appliquée pour finalement n'émettre que 260 bits par 20 ms, soit un débit binaire de 13 kbps, huit fois moindre qu'au début.

Un tel type de compression n'agit pas échantillon par échantillon. Un échantillon de 13 bits n'est donc pas directement transformé en un message ayant moins de 13 bits. L'ensemble des 160 échantillons correspondant à 20 ms de parole sont transformés en un ensemble de paramètres, coefficients, et signaux. Sans la connaissance de l'ensemble de ces données, il est impossible de retrouver un seul des 160 échantillons. Selon la signification de ces bits, le taux d'erreurs acceptable est différent. On définit alors trois classes de bits.

Pour un bloc de 260 bits, on compte :

- 50 bits de classe Ia, bits très importants ne devant pas être erronés. En cas d'erreur, il ne faut surtout pas les utiliser au risque d'entraîner d'autres erreurs dans les blocs suivants. Il faut donc les sécuriser impérativement.
- 132 bits de classe Ib, devant avoir le moins d'erreurs possibles.
- 78 bits de classe II, ayant moins d'importance.

3.3.4.4. Protection contre les erreurs

La protection apportée aux bits d'un paquet va donc dépendre de leur classe.

- i) On ajoute un code à redondance cyclique CRC de 3 bits aux 50 bits de classe Ia afin de détecter d'éventuelles erreurs.
- ii) Puis on ajoute les 132 bits de classe Ib. Auxquels on ajoute encore 4 bits de protection.
- iii) On obtient alors 189 bits.
- iv) On applique au tout un codage convolutionnel, de type Viterbi. Ce codage ajoute de la redondance au signal. Dans ce cas le taux 1/2 indique que pour chaque bit à transmettre, on en transmettra deux. Le nombre de bits à transmettre est donc doublé, soit 378. La redondance, ici de 100%, permet de corriger jusqu'à trois erreurs par paquet.
- v) On ajoute alors les 78 bits de classe II, pour obtenir un total de 456 bits pour 20 ms.

Le débit d'information comprimée et protégée devient alors 22,8 kb/s. La redondance insérée par le codage de Viterbi est telle que deux bits qui se suivent, portent la

même information. Sachant que les erreurs arrivent en général par paquet, il est fort probable que si un bit est erroné, le bit redondant le sera également. En conséquence, le codage de Viterbi n'a que peu d'intérêt tel qu'il est. Il serait intéressant alors, de séparer les bits redondants les uns des autres. Pour cela, on entrelace le paquet en utilisant une matrice de taille 8 fois 57 (8 en entrée, 57 en sortie). Cet entrelacement permet d'étaler la redondance insérée par le codage de Viterbi. Il y a alors 57 bits entre deux bits redondants. On obtient alors 8 paquets de 57 bits pour 20 ms de parole, soit un débit de 22,8kbits/s.

3.3.4.5. Cryptage

Il est bien sûr nécessaire de garantir un certain niveau de confidentialité et d'authentifier l'abonné. Toutefois il ne peut pas être envisagé d'utiliser les techniques à clef publique, dont la mise en œuvre serait bien trop coûteuse.

Les techniques nécessitent donc des échanges de clefs et ne sont pas explicitées par les constructeurs de réseaux.

3.3.5. Techniques de multiplexage

3.3.5.1. Multiplexage TDMA

Une liaison entre un téléphone mobile et une BTS utilise deux canaux de transmission : un pour la voie montante et un pour la voie descendante. Un canal est constitué d'une onde radio (la porteuse) dont la fréquence varie dans une plage de 200 kHz de largeur et pendant un huitième du temps. La figure suivante illustre le principe utilisé : une BTS transmet vers 3 téléphones mobiles, notés P1, P2 et P3, au moyen d'une porteuse dont la fréquence nominale est comprise entre 935 et 960 MHz (cas du GSM 900).

Cette fréquence nominale est de 950 MHz dans l'exemple de la figure suivante. Le message binaire (constitué de 0 et de 1) module la fréquence instantanée de la porteuse dans une plage étroite centrée autour de la fréquence nominale. La porteuse ainsi modulée occupe une largeur de 200 kHz comprise entre 949,9 et 950,1 MHz.

Durant un premier intervalle de temps T1, d'une durée de 577 μ s, la porteuse est utilisée pour transmettre vers le téléphone P1 ; cet intervalle de temps est appelé «time slot» dans la terminologie GSM. Ensuite, le téléphone P2 reçoit pendant le

second «time slot» T2. De la même manière, le téléphone P3 recevra les informations qui lui sont destinées pendant le troisième «time slot» T3, et ainsi de suite s'il y a d'autres téléphones mobiles dans la cellule. Une porteuse peut ainsi être partagée par 8 téléphones mobiles.

A la fin du « time slot » T1, le téléphone P1 devra attendre pendant 7 «time slots» avant de recevoir à nouveau. La transmission d'un canal (c'est-à-dire une conversation) se fait donc de manière discontinue ; ce procédé est appelé «multiplexage temporel» ou encore «time division multiple access» (TDMA).

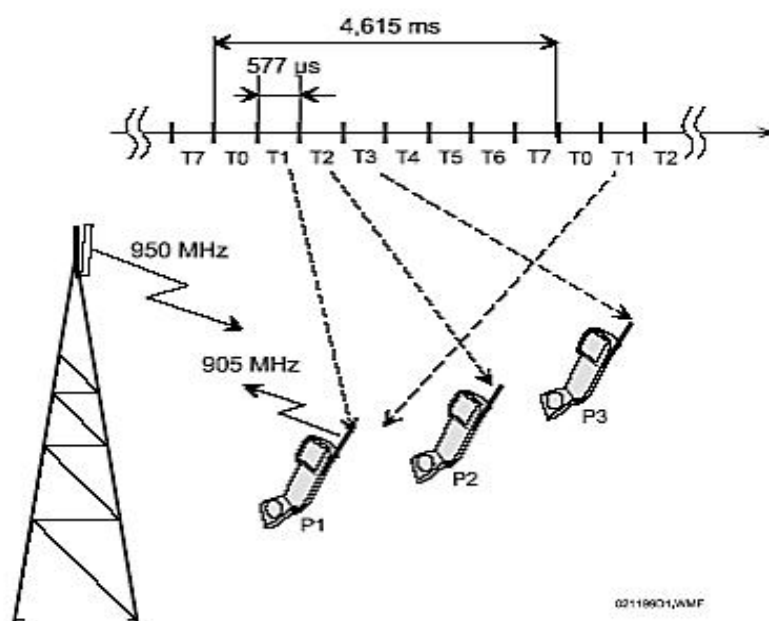


Figure III.6. Principe de multiplexage TDMA dans le système GSM.

Il est à noter que cette transmission « saccadée » n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car la transmission pendant un « time slot » s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal, autrement dit, la transmission vers le téléphone P1 s'effectue pendant le « time slot » T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 « time slots » (c'est-à-dire 4,615 ms).

La Figure III.7 présente le format des bits transmis pendant un « time slot ». Il comprend un train de 148 bits d'une durée de 3,7 μs, ce qui correspond à 547,6 μs.

Ce train de 148 bits est appelé «burst» ; il comporte :

- 3 bits d'en-tête et de queue : permettent d' « entourer » le burst
- Au centre, 26 bits : une séquence d'apprentissage pseudo-aléatoire. Par un calcul d'inter-corrélation, cette séquence permet de retrouver le centre du burst et de synchroniser la lecture des données à la réception.

- Temps mort de 8,25 bits. Pendant cette durée, aucune information n'est réellement transmise. Sachant qu'un mobile peut être à 70km d'une BTS, le retard de propagation varie. Ce temps mort permet de prendre en compte le retard d'arrivée du burst du fait de la distance
- Deux paquets de données de 57 bits, suivis ou précédés par 1 bit de préemption. L'utilité de ce bit sera vue dans le paragraphe sur les canaux logiques

3 bits d'entete	57 bits de données	1 bit Pr	26 b d'apprentissage	1 bit Pr	57 bits de données	3 bits de queue	8.25 bits de garde
-----------------	--------------------	----------	----------------------	----------	--------------------	-----------------	--------------------

Figure III.7. Format des bits transmis pendant un Time Slot.

3.3.5.2. Multiplexage FDMA

Face au fading de Rayleigh, le FDMA dynamique a été mis en place. Ce saut en fréquence permet de ne pas rester sur un nœud pour deux intervalles de temps successifs. De plus, il assure un début de confidentialité de la communication.

La fréquence de transmission, entre un téléphone mobile et une BTS, est modifiée à chaque «burst». La Figure III.8 correspond au cas où la BTS utilise 3 porteuses de fréquence f_1 , f_2 et f_3 . Chaque porteuse comporte 8 « time slots » c'est-à-dire 8 bursts numérotés de 0 à 7. Le 1^{er} «burst» est transmis à la fréquence f_1 , le 2^{ème} (c'est-à-dire 8 «time slots» plus tard) à la fréquence f_2 , le 3^{ème} à la fréquence f_3 . Pour les 4^{ème}, 5^{ème} et 6^{ème} «bursts», on recommence le cycle f_1 , f_2 , f_3 , et ainsi de suite.

f 1	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1				
f 2	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1		
f 3	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	0	1	0	1	2	3	4	5	6	7	0	1

Figure III.8. Configuration de multiplexage FDMA avec Trois fréquences.

Le procédé est appelé « frequency hopping » en anglais ; il a comme avantage d'offrir une transmission dont la qualité moyenne est améliorée. En effet, en pratique, la qualité d'une liaison radio (mesurée par le taux d'erreurs) peut varier avec la fréquence de la porteuse. Le saut de fréquence est utilisé, à la fois, pour les voies montantes et descendantes.

Par exemple, avec le GSM 900, si la BTS transmet le 1^{er} «burst» à la fréquence f_1 , la réponse du téléphone mobile sera transmise à la fréquence $f_1 - 45$ MHz. Pour le 2^{ème} «burst» transmis à la fréquence f_2 , la réponse du téléphone mobile sera transmise à la fréquence $f_2 - 45$ MHz, et ainsi de suite pour les « bursts » suivants.

3.3.6. Architecture du réseau GSM

Le réseau GSM peut être divisé en trois sous-systèmes :

- Sous-système radio contenant la station mobile, station de base et son contrôleur qui assure la transmission radioélectrique et la gestion de la ressource radio.
- Sous-système réseau ou d'acheminement : Etablissement des appels et mobilité
- Sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance.

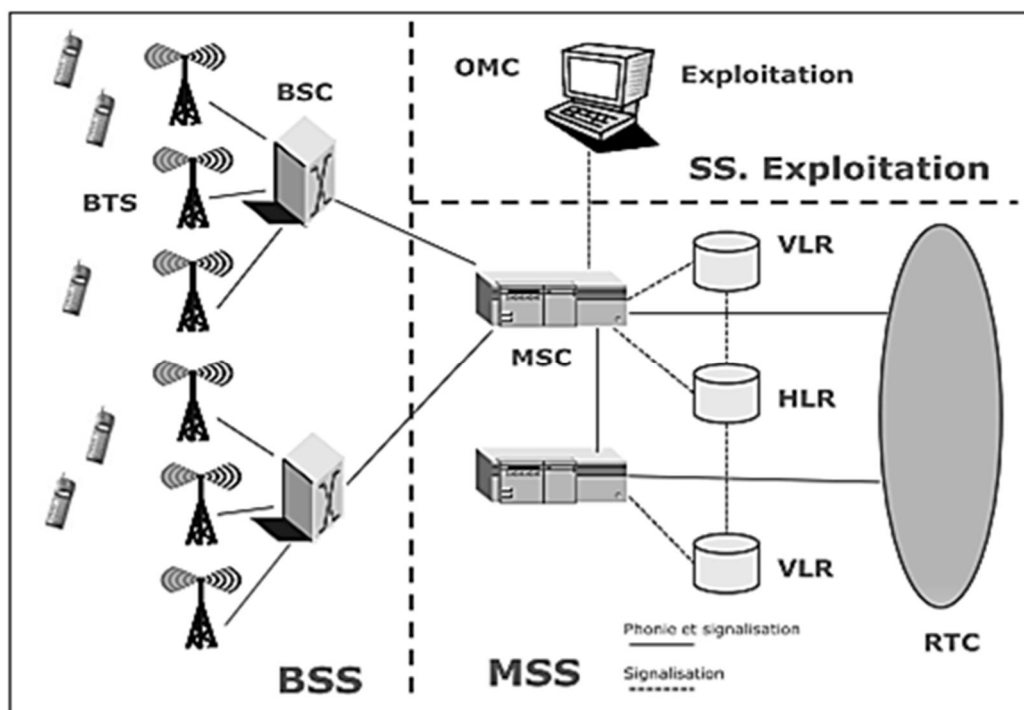


Figure III.9. Architecture du système GSM.

L'infrastructure du réseau GSM a permis de définir les éléments de base entre le terminal mobile et l'accès au réseau téléphonique. Pour rappel, celui-ci se compose d'une station de base (BTS) connecté à un contrôleur de station (BSC) qui communique avec une ou plusieurs BTS. Puis, se trouve le commutateur du réseau GSM (MSC) vers le réseau RTC.

Les MSC sont reliées à des bases de données, pour permettre de contrôler les droits d'accès des utilisateurs au réseau GSM, et pour enregistrer la localisation des abonnés. Les bases de données sont l'enregistreur des visiteurs « Visitor Location

Register » (VLR), le « Home Location Register » (HLR) du commutateur, et le « AUthentication Center » (AuC).

3.3.6.1. Sous-système radio (BSS)

Le sous-système radio gère la transmission radio. Il est constitué de plusieurs entités dont le mobile, la station de base (BTS, Base Transceiver Station) et un contrôleur de station de base (BSC, Base Station Controller). Cet ensemble administre les canaux radio d'un motif du réseau. Une station de base (BTS) gère l'interface radio entre l'infrastructure GSM et les stations mobiles. Un contrôleur de station de base (BSC) pilote une ou plusieurs stations de base selon l'architecture du réseau, qui dépend ici des contraintes imposées par le relief et la densité d'abonnés à desservir.

i) Mobile

Le téléphone et la carte SIM (Subscriber Identity Module) sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès. Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements. La principale fonction de la carte SIM est de contenir et de gérer une série d'informations. Elle se comporte donc comme une mini-base de données dont les principaux champs sont :

- Données administratives
 - PIN : Mot de passe demandé à chaque connexion
 - PUK : Code pour débloquer la carte
- Données liées à la sécurité
 - Clé Ki : Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
 - CKSN : Séquence de chiffrement
- Données relatives à l'utilisateur
 - IMSI : Numéro International de l'abonné
 - MSISDN : Numéro d'appel d'un téléphone GSM

IMSI (International Mobile Subscriber Identity) : c'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.

MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network) : c'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans l'HLR; les appels destinés à l'abonné sont

transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

Note :

L'identification d'un mobile s'effectue exclusivement au moyen de la carte SIM. En effet, elle contient des données spécifiques comme le code PIN (Personal Identification Number) et d'autres caractéristiques de l'abonné, de l'environnement radio et de l'environnement de l'utilisateur. L'identification d'un utilisateur est réalisée par un numéro unique (IMSI) différent du numéro de téléphone connu de l'utilisateur (MSISDN), tous deux étant incrustés dans la carte SIM.

ii) Station de base (BTS)

La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules.

Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station de base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes. C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Comme le multiplexage temporel est limité à 8 intervalles de temps, une station de base peut gérer tout au plus huit connections simultanées par cellule. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données.

iii) Contrôleur de station de base (BSC)

Le BSC gère les fréquences radio utilisées par ses différentes stations BTS, ainsi que les fonctions d'exploitation et de maintenance des stations de base qui sont télé-exploitées. Il assume de façon autonome les transferts intercellulaires des stations mobiles qui circulent dans sa zone de couverture.

Un BSC possède trois interfaces filaires normalisées :

L'interface A-Bis (entre BSC et BTS)

L'interface A (entre BSC et MSC)

L'interface X.25 (entre BSC et OMC)

3.3.6.2. Sous-système réseau (NSS)

Le sous-système réseau, appelé Network Switching Center (NSS), joue un rôle essentiel dans un réseau mobile GSM. Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : chiffrement, authentification ou roaming.

Le NSS est constitué de :

- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR) / Authentication Center (AuC)
- Visitor Location Register (VLR)
- Equipment Identity Register (EIR)

i) Centre de commutation mobile (MSC)

Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface A. Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou du réseau ISDN. D'un point de vue fonctionnel, il est semblable à un commutateur de réseau ISDN, mis à part quelques modifications nécessaires pour un réseau mobile. De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie.

Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR, VLR et AuC) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs.

ii) Enregistreur de localisation nominale (HLR)

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMN). Il faut le voir comme une base de données avec des informations essentielles avec un temps

d'accès doit être réduit au strict minimum. Plus la réponse du HLR est rapide et plus le temps d'établissement de la connexion sera petit.

Le HLR contient à la fois

- Toutes les informations relatives aux abonnés : le type d'abonnement, la clé d'authentification Ki .Cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc
- Certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau .en fait, son VLR. et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, . . .).

Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

iii) Centre d'authentification (AuC)

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur. Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications. Pour ce faire, la norme GSM prévoit deux mécanismes :

- Le chiffrement des transmissions radio. Il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse !
- L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification.

iv) Enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

La base de données relative aux visiteurs du réseau VLR stocke des informations se rapportant à des abonnés qui sont en transit. Le VLR est une base de données reliée à un MSC qui stocke temporairement les informations concernant chaque mobile dans la zone de travail du MSC, (identité de l'abonné, sa dernière zone de localisation, les services complémentaires souscrits par celui-ci, les éventuelles restrictions ou interdictions d'établissement de la communication).

v) Enregistreur des identités des équipements (EIR)

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe

quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données.

3.3.6.3. Centre d'exploitation et de maintenance

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique. Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau, gère notamment les alarmes, les dysfonctionnements, la sécurité, . . . Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

3.4. Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question de présenter le concept cellulaire des réseaux mobile et les problèmes liés à la propagation des ondes électromagnétique. Nous avons énuméré l'architecture globale, les bandes de fréquences, le principe de fonctionnement ainsi que les différentes parties de réseau mobile de deuxième génération (Système GSM).

Chapitre IV : Nouvelles générations de la téléphonie numérique

4.1. Introduction

L'interface air du système retenu pour l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) fait appel à une technique d'étalement de spectre, le WCDMA (Wide-bande Code Division Multiple Access) qui consiste à transmettre les informations émises par chaque utilisateur en même temps, sur la même fréquence porteuse, en les multipliant par des séquences pseudo-aléatoires de codes orthogonales, de rythme plus élevé que les informations à transmettre. C'est la décorrélation entre ces séquences de codes qui permet de séparer les signaux des différents utilisateurs à la réception. Ce système, particulièrement sensible aux interférences, nécessite un mécanisme de contrôle de puissance très performant mais permet l'utilisation des mêmes fréquences porteuses dans des cellules voisines, ce qui facilite la planification cellulaire et les transferts d'appels intercellulaires.

Enfin, ce système sera disponible à la fois en mode duplex par partage de fréquences (mode FDD : Frequency Duplex Division) et en mode duplex par partage d'intervalles de temps (mode TDD : Time Duplex Division), ce dernier mode, dont le développement est moins avancé, étant plutôt destiné à des réseaux micro-cellulaires.

4.2. Historique

4.2.1. Système NMT (1G)

Nordic Mobile Telephone (NMT) est une norme de téléphonie mobile spécifiée par les administrations des télécommunications nordiques à partir de 1970. Elle a été mise en service en 1981 en réponse à la congestion des réseaux de téléphonie mobiles existants à cette époque (la fréquence 150 MHz et 450 MHz).

Le réseau de première génération a été ouvert dans des pays tels que la Suède, le Danemark, la Norvège, d'où le nom de «Nordic» dans son appellation. Cette norme est basée sur une technologie de téléphonie analogique sans-fil. Sa technologie de modulation radio est similaire à celle utilisée par les stations radio FM.

Avantages

- Premiers radiotéléphones analogiques sans-fil

Inconvénients

- Taille importante des équipements
- Réseaux saturés

4.2.2. Système GSM (2G)

Global System for Mobile communication (GSM) est la norme de téléphonie mobile de seconde génération développée à partir de 1990. Cette technologie représente la première technologie de téléphonie numérique sans fil. En 1992, le GSM est utilisé dans 7 pays européens. Le débit moyen du GSM est similaire à celui du FAX, c'est-à-dire 9,6 kbits/sec.

Avantages

- Meilleure qualité d'écoute
- Taille réduite
- Confidentialité des communications

Inconvénients

- Débit : envoi de données lentes

4.2.3. Système GPRS (2.5G)

General Packet Radio Service (GPRS) est une évolution importante du GSM. L'objectif principal de cette évolution est d'accéder aux réseaux IP. Débit théorique est de l'ordre de 171, 2 kbit/s, et le débit réel est de l'ordre de 30 kbit/s. Le GPRS supporte différents niveaux de qualité de service. Quatre paramètres définissent la qualité de service : Classe de priorité, Classe de fiabilité, Classe de délai / retard et Classe de débit. Plusieurs nouveautés sont disponibles avec le GPRS :

- Accès au Web
- Messagerie électronique
- Transfert de fichier
- Commerce électronique
- Services d'information

Avantages

- Débits
- Accès WAP (Internet allégé)
- Facturation à la donnée
- Connexion permanente possible

Inconvénients

- Pas d'accès à l'Internet global
- Réseaux GSM déjà saturés

4.2.4. Système EDGE (2.75G)

Enhanced Data for GSM Evolution (EDGE) a été développé au cours de l'année 2005. Cette technologie est une évolution des technologies GSM et GPRS. Avec des débits réels de l'ordre de 177 kbits/s, EDGE se place entre le GPRS et la 3G. EDGE introduit une nouvelle modulation : 8-Phase Shift Keying (8-PSK)

Avantages

- Solution alternative moins onéreuse que la 3G
- Débits plus élevés que le GPRS

Inconvénients

- Obligation de changer de terminal

4.2.5. Système UMTS (3G)

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) a été développé en 2004 sous sa première version Release 99 (R99). L'UMTS fonctionne sur la bande de fréquences 1900-2000 MHz et permet un débit réel de l'ordre de 384 kbits/s (8 fois plus rapide que le GPRS).

Avantages

- Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile et ordinateur
- Visiophonie
- Télévision

Inconvénients

- Coût
- Changement des équipements usagers

4.3. Troisième génération (3G)

Apparue en 2000, la **troisième génération (3G)** désigne une génération de normes de téléphonie mobile. Elle est représentée principalement par les normes Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) et CDMA2000, permettant des débits de 2 Mb/s qui sont bien plus rapides qu'avec la génération précédente, par exemple le GSM.

Le schéma ci-dessous présente le plan de fréquence de la téléphonie de 3^{ème} génération en Europe, Japon et Etats-Unis :

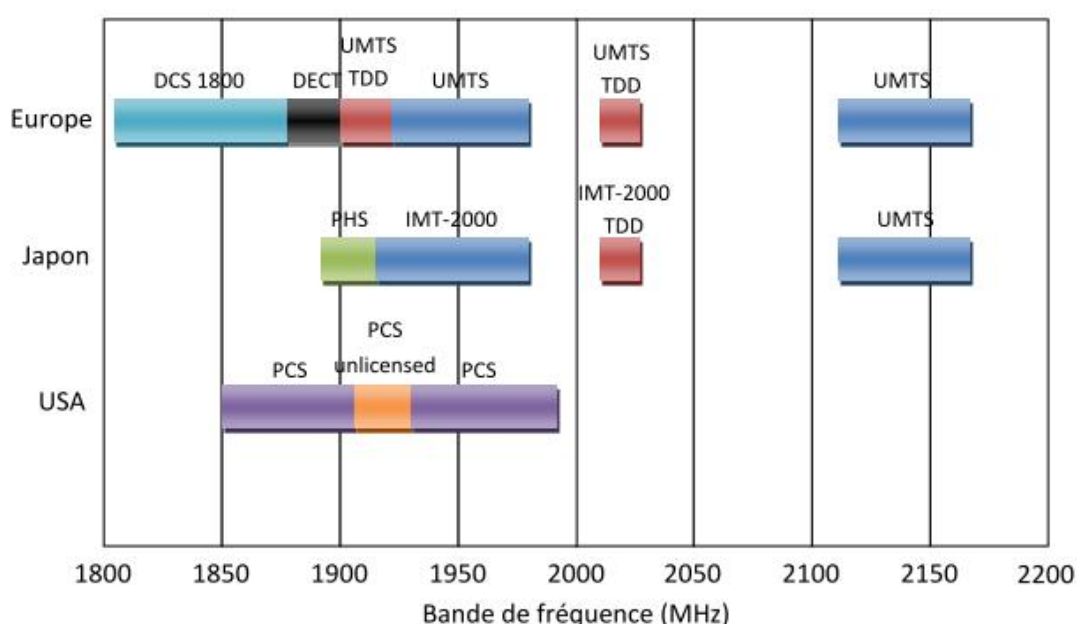


Figure IV.1. Plan de fréquences pour la 3G

4.4. Système UMTS

Le système UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est l'une des technologies de téléphonie mobile de troisième génération (3G). Elle est basée sur la technologie W-CDMA, standardisée par le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) et constitue l'implémentation dominante, d'origine européenne, des spécifications IMT-2000 de l'UIT pour les systèmes radio cellulaires 3G.

L'UMTS est parfois appelé 3GSM, soulignant la filiation qui a été assurée entre l'UMTS et le standard GSM auquel il succède. Elle est également appelée 3G, pour troisième génération.

L'UMTS a été développé à partir de 2004 avec la Release 99. Sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. Les spécifications techniques de cette norme sont développées au sein de l'organisme 3GPP.

L'UMTS est compatible avec tous les réseaux du monde du fait de la possibilité de roaming au niveau mondial. Le réseau UMTS ne remplace pas le réseau GSM existant puisque la coexistence entre ces deux réseaux est possible.

Les techniques utilisées vont permettre d'atteindre des débits de 384 kbit/s et même 2 Mbit/s. Les réseaux UMTS seront utilisés pour le transfert de données, pour le multimédia, pour la voix. Il est prévu deux types d'accès radio. Un accès par réseau terrestre (comme le GSM) et un accès direct par liaison satellite.

L'accès par réseau terrestre, en particulier, utilise :

- i) Des fréquences de l'ordre de 2 GHz ;
- ii) Les cellules UMTS doivent être plus petites que les cellules GSM;
- iii) Le débit maximal est fonction de la dimension de la cellule et de la vitesse de déplacement du terminal, par exemple le débit de 2 Mbit/s nécessite une très petite cellule (< 100 m environ) et que le mobile soit presque immobile durant la transmission.

4.4.1. Objectifs du Système UMTS

Les principaux objectifs de L'UMTS sont:

- i) La compatibilité de l'UMTS avec le GSM** qui comprend deux aspects :
 - La compatibilité en termes de services offerts à l'utilisateur (les services support, les télé-services et les services supplémentaire) ;
 - La transparence du réseau vis-à-vis de l'utilisateur.
- ii) Le support du multimédia** (voix, visiophonie, transfert de fichiers ou le Web).
- iii) Les débits supportés** : En tant que successeur du GSM, l'UMTS se devait de proposer une gamme de débits allant au-delà de l'offre de 2^{ème} génération.

4.4.2. Hiérarchie des cellules et débits de l'UMTS

Le système UMTS serait conçu de manière à assurer les débits suivants:

- 144 kbit/s en environnement rural extérieur ;
- 384 kbit/s en environnement urbain extérieur ;
- 2 Mbit/s pour des faibles distances à l'intérieur d'un bâtiment couvert.

Tout comme le réseau GSM, l'UMTS est divisé en plusieurs cellules de tailles variables. Chacune d'entre elles est présente en fonction de la densité de population à servir et de la vitesse de mobilité. L'accès par satellite est une extension.

- i) Une pico-cellule permet des débits de l'ordre de 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur).
- ii) Une micro-cellule permet des débits de l'ordre de 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun, etc.).
- iii) Une macro-cellule permet des débits de l'ordre de 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse, etc.).

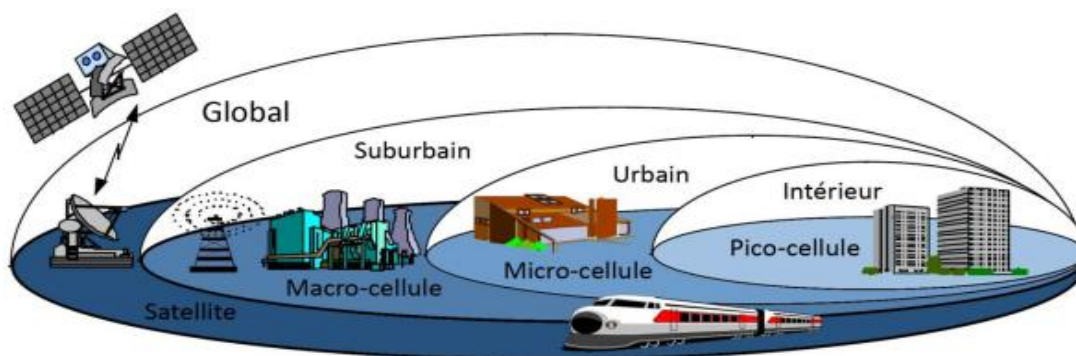


Figure IV.2. Hiérarchie des cellules de l'UMTS

4.4.3. Classes de services de l'UMTS

Afin de couvrir l'ensemble des besoins présents et futurs des services envisagés pour l'UMTS, quatre classes ont été définies afin de regrouper les services en fonction de leurs contraintes respectives. Les principales contraintes retenues pour la définition des classes de services de l'UMTS sont les suivantes :

- La variation du délai de transfert des informations,
- La tolérance aux erreurs de transmission.

Les quatre classes de services définies dans le cadre de l'UMTS peuvent se répartir en deux groupes :

- Les classes A (ou conversational) et B (ou streaming) pour les applications à contrainte temps réel ;
- Les classes C (ou interactive) et D (ou background) pour les applications de données sensibles aux erreurs de transmission.

Table IV.1. Les Classes de services de l'UMTS

Groupes	Classes	Services	Contraintes
Groupe des applications à contraintes temps réel	Classe A (conversational) services conversationnels	-Téléphonie -Visiophonie -Jeux interactifs	Très sensibles au retard, symétriques.
	Classe B (streaming) : services à flux continues	-Vidéo à la demande -Diffusion radiophonique -Transfert d'image	Très Sensibles au retard, asymétriques.
Groupe des applications de données sensibles aux erreurs de transmission.	Classe C (interactive): services interactifs	-Navigation Web -Transfert de fichier FTP -Transfert d'E-mail -E-commerce	Sensibles au temps aller et retour, asymétriques.
	Classe D (background) services d'arrière plan	- Transfert de Fax - SMS	Insensible au retard, asymétriques.

Le schéma ci-après présente les différents services que propose l'UMTS. Sur l'axe des ordonnées se trouve le débit demandé pour le service en question. Chacun des services est regroupé par leur type de connexion (bidirectionnel, unidirectionnel, diffusion point/multipoint).

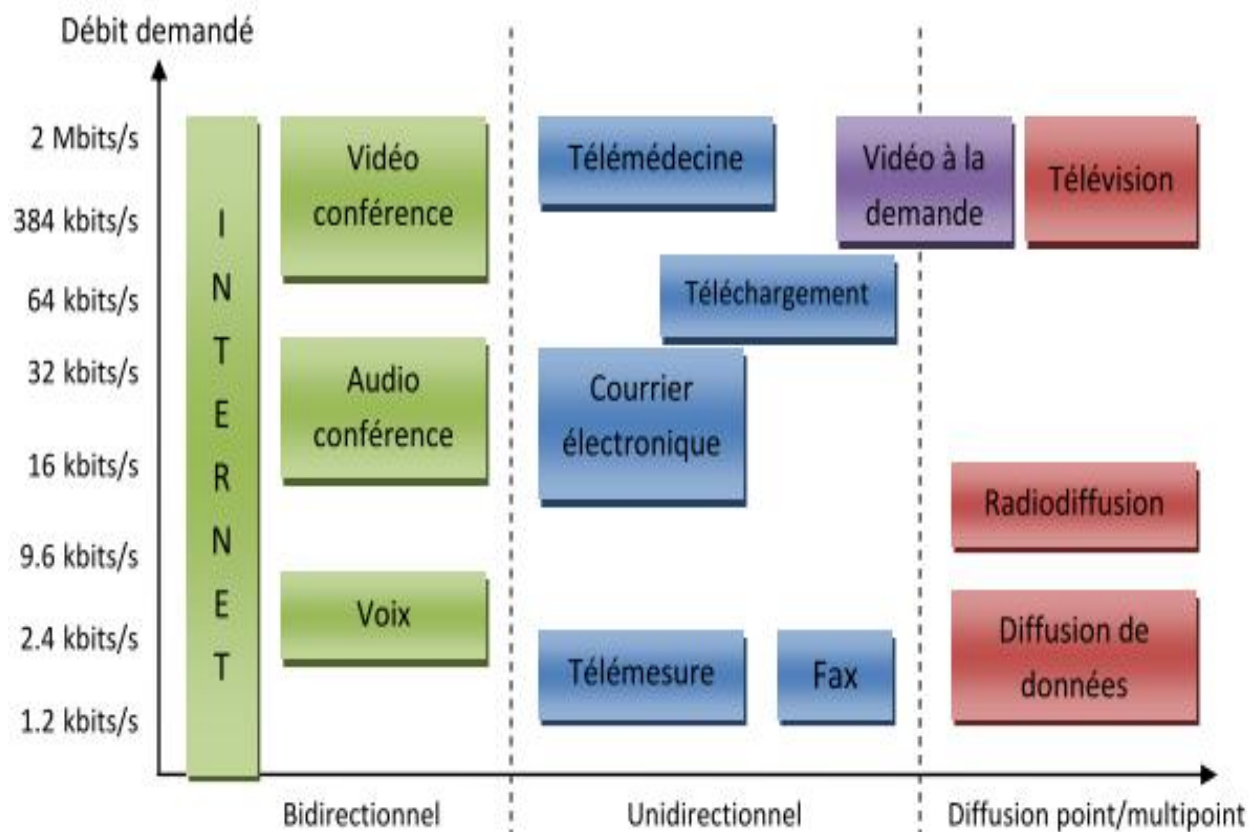


Figure IV.3. Les besoins en débit des services de l'UMTS

4.4.4. Caractéristiques

Les caractéristiques minimales requises pour assurer le démarrage de l'UMTS portent sur trois domaines : Les services, le réseau d'accès radio et le réseau de transport.

- Pour les services on a :
 - i) Possibilité de multimédia avec mobilité complète.
 - ii) Accès efficace à l'Internet, aux Intranet et autres services supportés par le protocole Internet (IP)
 - iii) Haute qualité de parole, comparable à celle des réseaux fixes
 - iv) Portabilité des services entre différents environnements UMTS.
 - v) Exploitation à l'intérieur, à l'extérieur et à grande distance des services GSM/UMTS dans un environnement sans coupure, y compris une itinérance complète entre réseaux GSM et UMTS ainsi qu'entre la composante de terre et la composante par satellite des réseaux UMTS.

- Pour le réseau d'accès radio il doit y avoir :
 - i) Une nouvelle interface radio différente de celle utilisée en GSM permettant l'accès à tous les services (technologie UTRA).
 - ii) Une bonne efficacité spectrale globale.
- Pour le réseau de transport il doit y avoir :
 - i) Evolution de la famille GSM, gestion de mobilité pour le contrôle d'appel incluant une fonctionnalité d'itinérance complète basée sur les spécifications GSM.
 - ii) Eléments de la convergence fixe/mobile.

4.4.5. Architecture de l'UMTS

L'architecture du système UMTS est similaire à celle de la plupart des réseaux de deuxième génération. Le système UMTS est composé de différents éléments logiques qui possèdent chacun leurs propres fonctionnalités. Il est possible de regrouper ces éléments de réseau en fonction de leurs fonctionnalités ou en fonction du sous réseau auquel ils appartiennent.

Les éléments de réseau du système UMTS sont répartis en deux groupes :

Le premier groupe correspond au réseau d'accès radio (RAN, Radio Access Network ou UTRAN, UMTS Terrestrial RAN) qui supporte toutes les fonctionnalités radio.

Le deuxième groupe, il correspond au réseau cœur (CN, Core Network) qui est responsable de la commutation et du routage des communications (voix et données) vers les réseaux externes.

Pour compléter le système, on définit également le terminal utilisateur UE (User Equipment) qui se trouve entre l'utilisateur proprement dit et le réseau d'accès radio.

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur. La figure suivante présente l'architecture globale du système UMTS.

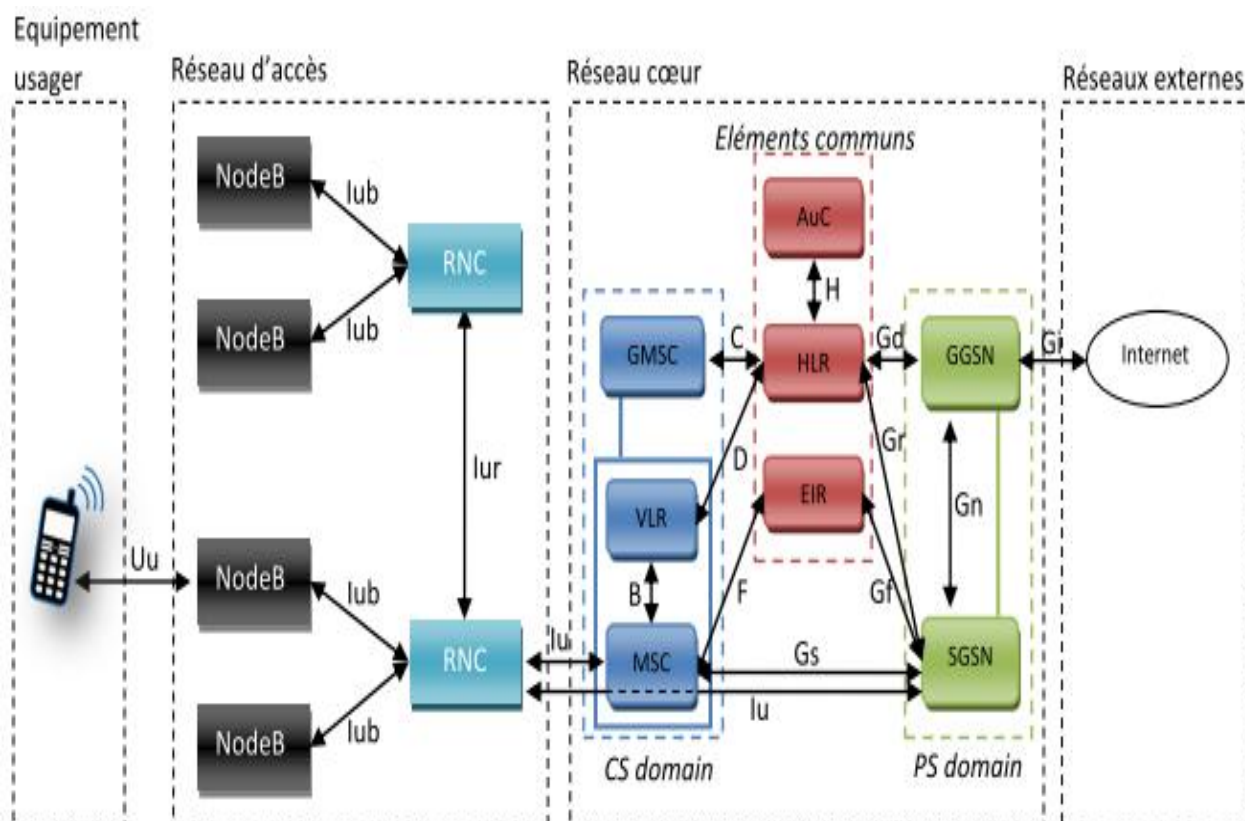


Figure IV.4. Architecture globale du réseau UMTS

4.4.5.1. Présentation du terminal utilisateur :

Le terminal utilisateur (UE) est composé des deux parties suivantes :

- i) Le terminal mobile (ME. Mobile Equipment) correspond au terminal radio utilisé pour les communications radio sur l'interface Uu.
- ii) La carte USIM (L'UMTS Subscriber Identity Module) est une carte à puce qui stocke l'identité de l'abonné, les algorithmes et les clefs d'authentification.

Les clefs de chiffrement ainsi que certaines données relatives à l'abonnement de l'utilisateur qui sont nécessaires au niveau du terminal.



4.4.5.2. Réseau d'accès radio (UTRAN)

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

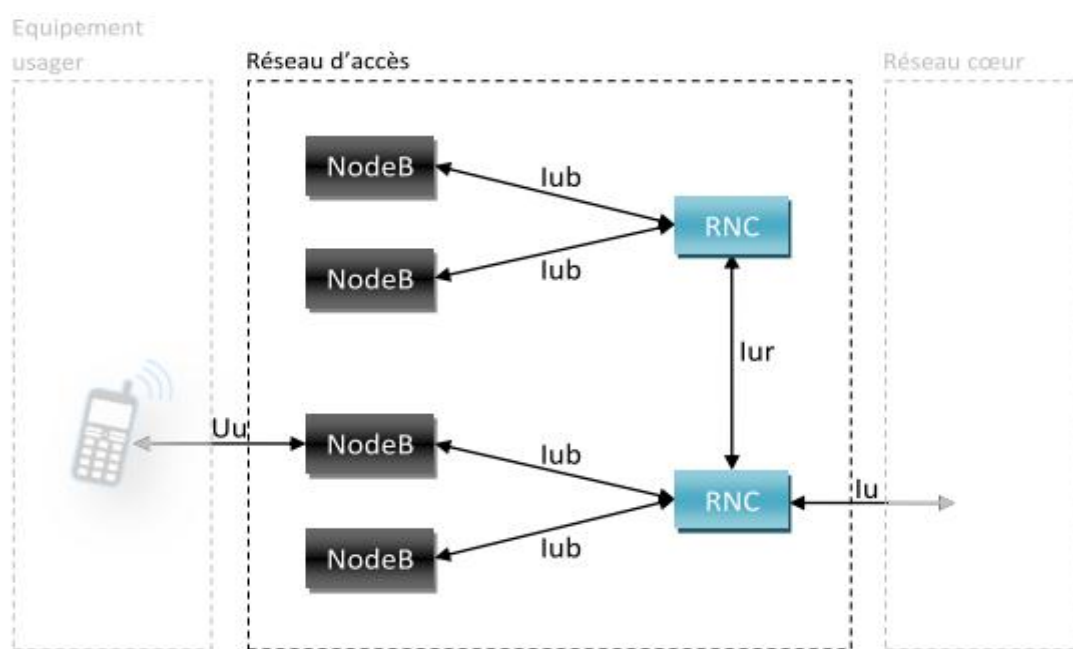


Figure IV.5. Architecture du réseau d'accès radio

Le réseau d'accès UTRAN est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions :

- i) **Sécurité*** : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio.
- ii) **Mobilité*** : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- iii) **Gestion des ressources radio*** : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- iv) **Synchronisation*** : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

a) NodeB

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement utilisateur. Le Node B travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage).

Nous pouvons trouver deux types de NodeB :

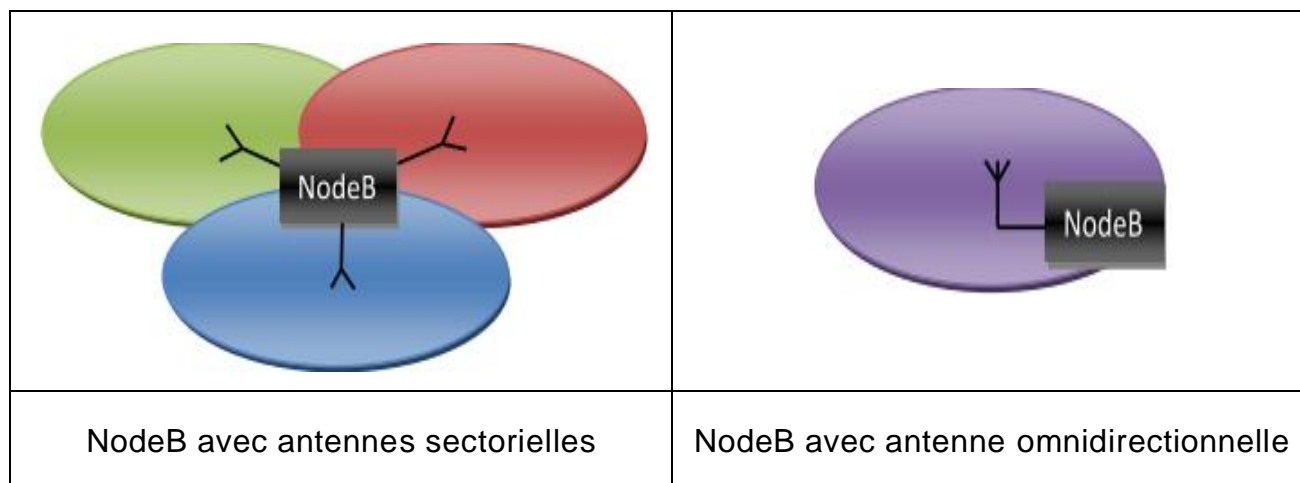


Figure IV.6. Deux types de NodeB

b) Contrôleur du réseau radio (RNC : Radio Network Controller)

Le RNC gère les ressources radio de la zone dont il a le contrôle, c'est-à-dire les ressources de la zone de couverture de tous les Node B auxquels il est rattaché. Il assure la mobilité des usagers et la concentration de trafic. Le RNC est le point d'accès pour tous les services fournis par l'UTRAN au réseau cœur. Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

4.4.5.3. Réseau cœur

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties dont deux domaines :

- i) Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- ii) Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- iii) Les éléments communs aux domaines CS et PS

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ces domaines peuvent être considérés comme des domaines de service.

Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service. Le schéma suivant représente l'architecture du réseau cœur de l'UMTS :

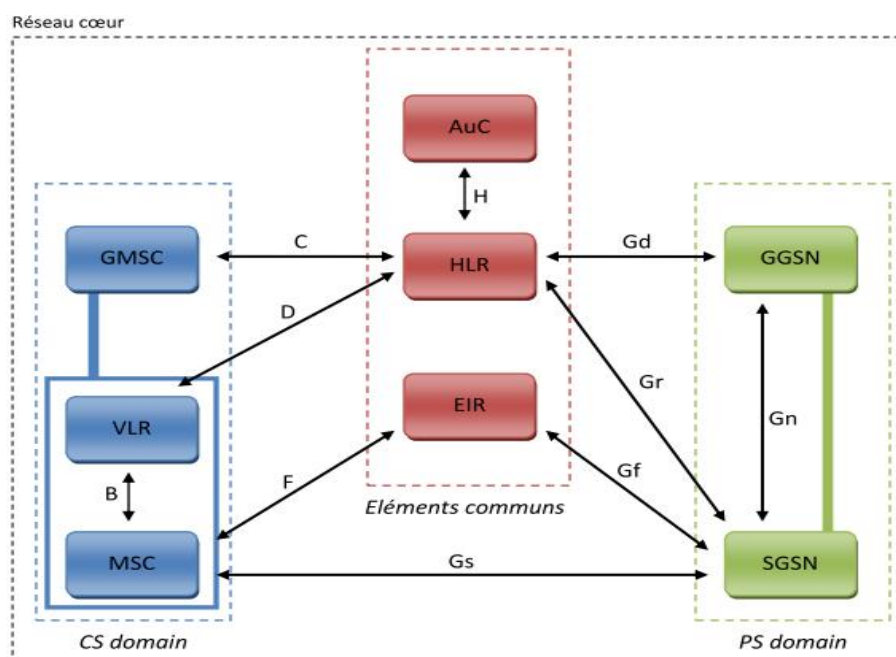


Figure IV.7. Architecture du réseau cœur de l'UMTS

i) Eléments communs

Le groupe des éléments communs est composé de plusieurs modules :

- Le **HLR** (Home Location Register) représente une base de données des informations de l'utilisateur suivantes : Identité de l'équipement usager, Numéro d'appel de l'utilisateur et Informations relatives aux possibilités de l'abonnement souscrit par l'utilisateur
- L'**AuC** (Authentication Center) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication. L'AuC se base sur le HLR afin de récupérer les informations relatives à l'utilisateur et pour ainsi créer une clé d'identification.
- L'**EIR** (Equipment Identity Register) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers. Il est en possession d'une liste des mobiles black listés par un numéro unique propre à chaque équipement usager, le numéro IMEI (International Mobile station Equipment Identity).

ii) Domaine CS

Le domaine CS est composé de plusieurs modules :

- Le **MSC** (Mobile-services Switching Center) est en charge d'établir la communication avec l'équipement usager. Il a pour rôle de commuter les données.

- Le **GMSC** (Gateway MSC) est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté. Si un équipement usager contacte un autre équipement depuis un réseau extérieur au réseau UMTS, la communication passe par le GMSC qui interroge le HLR pour récupérer les informations de l'utilisateur. Ensuite, il route la communication vers le MSC dont dépend l'utilisateur destinataire.
- Le **VLR** (Visitor Location Register) est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire l'identité temporaire de l'équipement usager dans le but d'empêcher l'interception de l'identité d'un usager. Le VLR est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique LA (Location Area).

iii) Domaine PS

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

- Le **SGSN** (Serving GPRS Support Node) est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique dans une zone de routage R.
- Le **GGSN** (Gateway GPRS Support Node) est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

Table IV.2. Comparaison entre les équipements de GSM et UMTS

UMTS	GSM	Commentaire
UE	MS	
Node B	BTS	Un Node B est moins autonome qu'une BTS
RNC	BSC	Un RNC est plus complexe qu'un BSC puisqu'il contrôle complètement les Node B
UMSC	MSC	
RNS	BSS	

4.4.6. Technique CDMA

L'UMTS a adopté un nouveau système CDMA, appelé WCDMA, ou CDMA large bande, parce que supportant des informations usager pouvant atteindre 2 Mbit/s, au lieu que quelques dizaines de kilobits par seconde pour les systèmes précédents.

Le principe de base du CDMA consiste à affecter à tous les usagers en communication dans une même cellule la même fréquence au même moment, la

discrimination entre les appels se faisant grâce à un codage selon un code différent pour chaque usager.

Ce codage est le produit du signal à transmettre par une séquence pseudo-aléatoire de rythme nettement plus élevé (huit fois en W-CDMA) que le signal. Le signal binaire d'origine à transmettre est juste encodé en NRZ (code sans retour à zéro) puis multiplié par la séquence de codage pseudo-aléatoire.

Il en résulte un signal de fréquence égale à celle de la séquence pseudo-aléatoire. On dit qu'on a effectué une modulation à séquence directe. On a également procédé à une opération d'étalement de spectre, puisque pour un signal de fréquence maximale F , après modulation, le signal prêt à transmettre a une fréquence maximale nF , où n est le rapport entre le rythme de la séquence de codage et celui du signal à transmettre. On appelle gain de traitement ou facteur d'étalement. Le récepteur reçoit un signal multiplexé comprenant toutes les séquences codées. Par multiplication avec l'une des séquences de codage, il retrouve un seul signal de départ, les autres étant trop peu décodés, car insuffisamment corrélés, pour être perçus.

4.5. Evolution des générations

Nom	Acronyme	Intitulé	Périodes	Fréquences	Débits	Multiple-xage
1 G	NMT	Nordic Mobile Telephone	1970/1984	150 MHz 450 MHz	Analogique	FDMA
2 G	GSM	Global System for Mobile Communication	1980/1999	900 MHz 1800 MHz	9,6 kbit/s	TDMA+ FDMA
2,5 G	GPRS	General Packet Radio Service		900 MHz 1800 MHz	171,2 Kbits/s 17,9 Kbits/s	CDMA
2,75 G	EDGE	Enhanced Data Rate for GSM Evolution	1992/2002	900 MHz 1800 MHz	384 Kbits/s 64 Kbits/s	CDMA
3 G	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System		2 100 MHz	1,9 Mbits/s	CDMA
3,5 G	HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	2000/2010		14 Mbit/s	CDMA
3,75 G	HSPA+	High Speed Packet Access +		2 100 MHz	14 Mbits/s 5,8 Mbits/s	CDMA
3.75G	H+, Dual Carier	Dual-Cell High Speed Packet Access +		2 100 MHz	42 Mbits/s	CDMA
4 G	LTE	Long Term Evolution	2010/2020	2600 MHz	326 Mbits/s	CDMA
4+ G	LTE advanced	perfectionnement du «Long TermEvolution»		2600 MHz	1 GBits/s / 500 MBits/s	CDMA
5G	IMT-2020 LTE - B	Long Term Evolution Advanced (LTE - B)		3500 MHz	50 GBits/s	CDMA

4.6. Conclusion

Le W-CDMA est doté de nombreux avantages par rapport aux technologies utilisées dans la seconde génération (2G) de télécommunications mobiles.

- La sécurité est nettement améliorée. En effet, le signal, perçu comme un bruit, est codé par une séquence connue uniquement par l'émetteur et le récepteur.
- La sensibilité aux interférences extérieures est réduite puisque les brouilleurs sont réduits lors du des-étalement.
- Plusieurs émetteurs peuvent partager la bande passante. Cela permet d'obtenir des débits supérieurs, en plus d'être variables. De plus, ce partage évite le multiplexage existant en 2G.

Chapitre V :

Equipements d'interconnexion en téléphonie

5.1. Introduction

Il est nécessaire de grouper les moyens de communication et de les partager entre les équipements terminaux pour réaliser un réseau. Ces moyens de communication peuvent être soit des liaisons point à point ou multipoint, soit des équipements capables de stocker et d'aiguiller l'information.

Un réseau de communication est un ensemble de ressources mis à la disposition d'équipements pour leur permettre d'échanger de l'information. Le terme réseau désigne suivant le contexte soit l'ensemble des ressources y compris les équipements terminaux, soit seulement le réseau de communication. On parle parfois de réseau de transport ou de sous-réseau. Un réseau de communication est généralement la propriété d'un opérateur qui met cette ressource à la disposition de tiers moyennant rétribution.

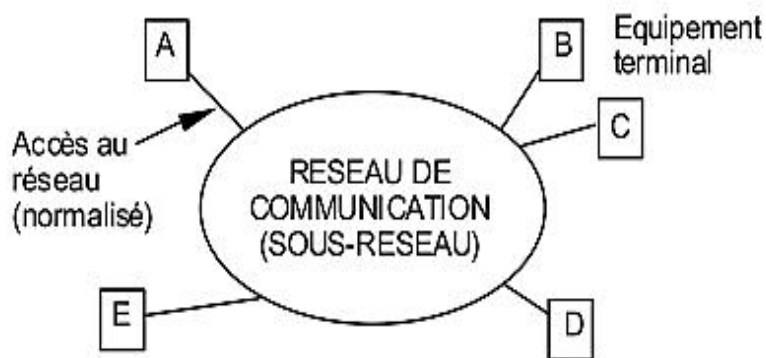


Figure V.1. Réseau de communication

5.2. Réseaux à commutation

Dans le cas des réseaux grande distance, appelés aussi WAN (Wide Area Network), reliant plusieurs centaines de milliers voire millions d'équipements terminaux sur un territoire national, il n'est pas possible de partager un même

support de transmission. On utilise un réseau à commutation. Les équipements terminaux sont reliés à des commutateurs. Ces derniers sont les “ carrefours ” du réseau et ont pour fonction de concentrer, d'éclater et de rediriger les informations. Les commutateurs sont reliés entre eux par des circuits point-à-point qui constituent des artères de communication. Un réseau de communication peut ainsi se définir comme un graphe ou un ensemble de nœuds. La topologie du réseau définit la façon dont sont reliés les différents commutateurs.

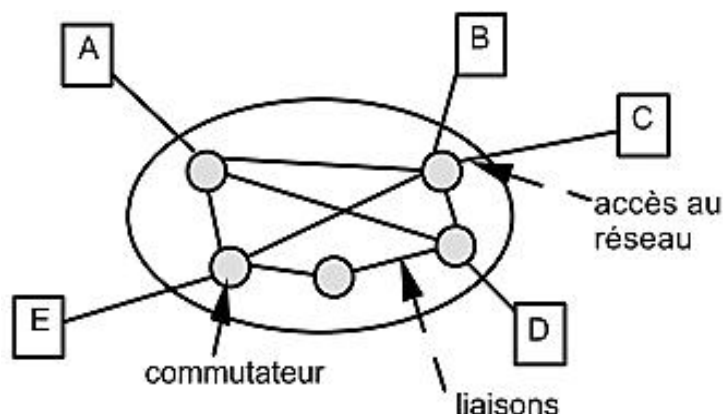


Figure V.2. Réseau à commutation

5.2.1. Type de topologie

5.2.1.1. Topologie en étoile

Les commutateurs sont reliés à un même commutateur central. Certaines opérations comme le routage sont alors très simples. Cependant, un tel réseau est très fragile car tout dépend du bon fonctionnement du commutateur central.

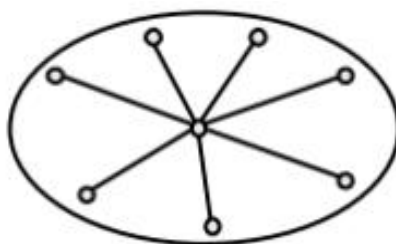


Figure V.3. Topologie étoile

5.2.1.2. Topologie en arbre

Topologie en arbre peut être vue comme une généralisation du cas précédent avec l'introduction d'une hiérarchie : chaque commutateur est relié à un ensemble de commutateurs de niveau inférieur. Dans les topologies en arbre ou en étoile, il n'y a

toujours qu'un chemin possible entre deux commutateurs : toute rupture d'une liaison entre deux commutateurs empêche donc le dialogue entre certains équipements terminaux.

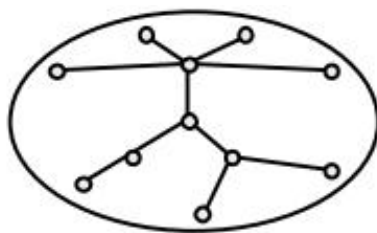


Figure V.4. Topologie en arbre

5.2.1.3. Topologie complètement maillée

Dans une topologie complètement maillée, chaque commutateur est relié à tous les autres. On atteint alors un haut niveau de sécurité au prix d'une augmentation considérable du nombre de liaisons et donc des coûts.

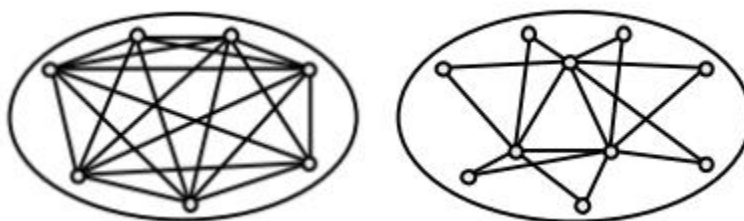


Figure V.5. Topologie complètement maillée

Dans la plupart des réseaux, la solution choisie est un mélange des précédentes : le réseau est hiérarchisé suivant une topologie en arbre avec un certain degré de maillage.

5.2.2. Commutateurs

Dans un réseau téléphonique, les équipements sont conçus pour pouvoir mettre en relation tous les abonnés (télécommunication) :

- Soit en empruntant les lignes du réseau, ce sont des communications extérieures.
- Soit au sein d'une même entreprise, il s'agit ici de communications internes traitées par un autocommutateur privé. L'accès au réseau public se fait alors en composant un préfixe supplémentaire.

A l'origine les agents du téléphone connectaient manuellement la ligne de l'appelant à celle de l'appelé. Puis les commutateurs ont évolué. Passant de l'électrotechnique aux technologies électronique puis maintenant informatique, ils permettent des gains de productivité importants par l'automatisation de tâches répétitives et d'opérations standardisées. Les informations de gestion des appels téléphoniques, appelées la «signalisation», transitent sur un réseau parallèle spécifique : le réseau «Sémaphore».



Figure V.6. Centre de commutation manuel et automatique

Comme nous avons indiqué dans le chapitre 1, au début des systèmes téléphonique les commutateurs ont été manuels et aujourd'hui automatiques (autocommutateurs), comme on peut distinguer des commutateurs d'abonnés et d'autres de transit.

Un commutateur d'abonné peut assurer les fonctions suivantes :

- Liaison entre deux lignes d'abonné qui lui sont connectées, c'est une liaison locale.
- Connecter une ligne d'abonné vers une jonction reliée à un autre commutateur. C'est un appel sortant.
- Connecter une jonction provenant d'un autre commutateur vers une ligne d'abonné. C'est un appel entrant.

Un commutateur de transit réalise des connexions entre jonctions provenant de commutateurs distants, il réalise des liaisons de transit.

Un commutateur peut être analogique ou numérique. Un commutateur analogique réalise une liaison physique entre une ligne entrante et une ligne sortante et ceci à l'aide de points de connexions métalliques ou électroniques.

Un commutateur numérique associe une voie temporaire sur un multiplex MIC à la communication entre deux abonnés et peut aiguiller une VT d'un MIC entrant vers une autre VT d'un MIC sortant.

Il est difficile d'établir le schéma bloc d'un commutateur vu les différences architectures rencontrées dans la pratique. Le schéma ci-dessous présente un ensemble de blocs fonctionnel rencontrés sur tous les commutateurs.

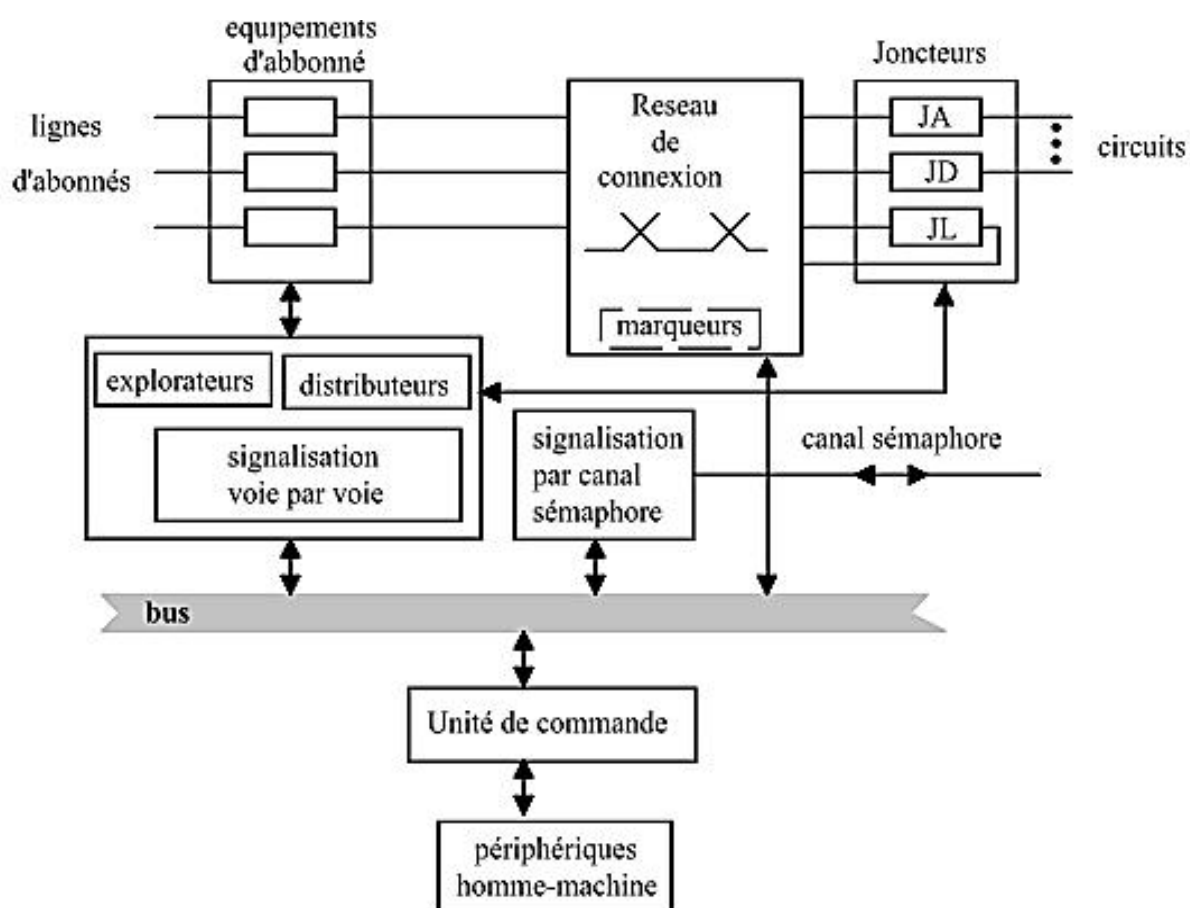


Figure V.7 : Structure fonctionnelle d'un autocommutateur

- i) L'équipement d'abonné ou équipement de ligne assure l'interface entre la ligne d'abonné et le reste des équipements du commutateur. Il est raccordé d'un côté au répartiteur général où arrivent toutes les lignes d'abonnés, et de l'autre aux équipements du commutateur qui ont la charge de traiter les appels téléphoniques (alimentation, explorateurs, distributeurs matrice de connexion ...).
- ii) Les joncteurs assurent l'interface entre les commutateurs et les jonctions. C'est à ce niveau qu'est injectée la signalisation entre commutateurs. La signalisation elle-même étant générée et traitée par des auxiliaires de signalisation.

iii) L'explorateur d'abonné a pour rôle principal d'explorer cycliquement, un par un, tous les équipements d'abonné. Lorsqu'un changement d'état remarquable intervient sur l'équipement d'abonné examiné, il interrompt son exploration, en avertit l'unité de contrôle, puis il reprend son exploitation à l'endroit où elle s'est arrêtée. L'explorateur doit distinguer les états fondamentaux de la ligne d'abonné, comme :

- Raccroché
- En appel (décrochage)
- Connecté (à un joncteur à travers le réseau de connexion)
- En faux appel (décroché mais non connecté)
- Fin de faux appel
- Fin de communication (raccrochage)

iv) Une opération de distribution consiste le plus souvent à faire adresser et basculer un relais afin d'injecter une signalisation (hors bande ou dans bande) dans la ligne.

v) Le réseau de connexion est la partie du commutateur qui permet de connecter les lignes appelantes avec les lignes appelée. En plus de la matrice de connexion, il possède en général ses propres organes de commande qu'on appelle marqueurs.

vi) l'unité de commande d'un commutateur assure quelques fonctions principales comme :

- Fonction de traitement des appels,
- Fonction d'Exploitation et de maintenance,
- Les contraintes fondamentales d'une Unité de Commande,

5.3. Infrastructures et interfaces des réseaux mobiles

Cette section présente les interfaces d'un réseau mobile GSM. L'appellation GSM regroupe deux types de réseaux cellulaires numériques de télécommunications pour abonnés mobiles :

- Le réseau GSM900 : il utilise des fréquences porteuses dans la gamme des 900 MHz et il a été le premier type de réseau mobile cellulaire numérique européen,
- Le réseau DCS1800 qui utilise des fréquences porteuses dans la gamme des 1800 MHz.

Les réseaux GSM/DCS permettent d'offrir au public des services de télécommunication avec une couverture continue sur un vaste territoire. Cette disponibilité du service est obtenue par la localisation automatique de la station mobile et par des accords d'itinérance (roaming) entre opérateurs.

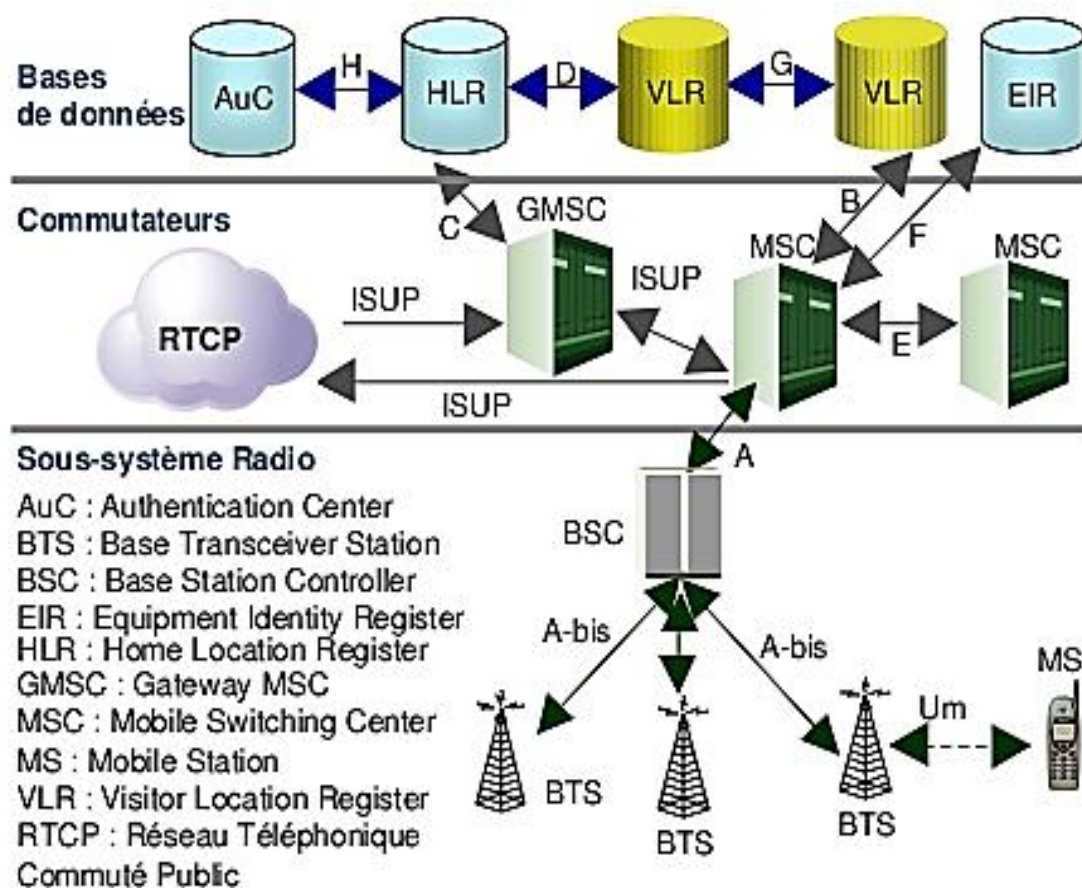


Figure V.8. Interface du réseau GSM

Le système GSM normalise un ensemble d'interfaces entre les entités afin de permettre l'interfonctionnement entre équipements de fournisseurs différents.

5.3.1. Interface A

Le BSC et le MSC disposent de l'interface A basée sur l'utilisation d'une ou plusieurs liaisons numériques à 2Mbit/s qui supportent le trafic ainsi que la signalisation nécessaire. L'interface A est définie à la sortie du MSC et le débit du canal de parole y est égal à 64 kbit/s. Or, le débit correspondant sur l'interface radio est égal au plus à 16 kbit/s. Une fonction de transcodage (TRAU, Transcoder / Rate Adaptor Unit) pour la parole ou de conversion de débit pour les canaux de données est donc nécessaire. L'interface A permet que ces fonctions soient géographiquement

situées près du MSC ou du BSC ; cependant, fonctionnellement, le transcodeur est considéré comme faisant partie du BSS.

5.3.2. Interface Abis

Le BSC et la BTS partagent une interface Abis qui utilise au niveau physique des liens à 2 Mbit/s. le protocole LAPD (Link Access Protocol for the D channel) est utilisé pour le transport de la signalisation. Cette interface devait à l'origine faire l'objet d'une spécification technique très stricte, afin de permettre l'interfonctionnement entre des BTS et des BSC de différents fournisseurs.

5.3.3. Interface Um

La station mobile (MS) communique avec la BTS par le biais de l'interface radio Um qui utilise le protocole de signalisation LAPDm. Cela permet à la station mobile d'établir une connexion de niveau 2 avec la BTS pour fiabiliser le dialogue sur le canal dédié. Le sens montant désigne les activités radio de la station mobile vers le réseau; le sens descendant désigne les activités radio du réseau vers la station mobile.

5.3.4. Interface B

Lorsqu'un MSC nécessite des informations concernant une station mobile localisée dans sa zone de couverture radio, il interroge le VLR qui lui est dédié, par le biais de l'interface B. Lorsqu'un mobile démarre une procédure de mise à jour de sa localisation avec un MSC, le MSC en informe son VLR toujours à travers l'interface B qui sauvegarde les informations appropriées.

5.3.5. Interface C

Le GMSC et le HLR disposent de l'interface C permettant au GMSC d'interroger le HLR contenant les caractéristiques d'abonnement d'un abonné mobile, afin d'établir un appel vers sa station mobile.

5.3.6. Interface D

L'interface D est utilisée entre VLR et HLR pour échanger les données relatives à la localisation d'un mobile ainsi que pour la gestion des caractéristiques de l'abonné. Lorsqu'un mobile met à jour sa localisation auprès d'un nouveau

MSC/VLR, le nouveau VLR envoie au HLR les données relatives à la dernière localisation du mobile; le HLR lui retourne toutes les informations afin de fournir le service à la station mobile. Le HLR demande ensuite au VLR ayant géré la précédente localisation d'effacer les informations de localisation qu'il possédait concernant ce mobile.

5.3.7. Interfaces E

Lorsqu'une station mobile se déplace d'un MSC vers un autre pendant une communication, une procédure de transfert intercellulaire (handover) inter-MSC doit être exécutée afin de garantir la continuité de la communication. A cette fin, les MSCs doivent échanger des données afin d'initier puis de réaliser l'opération.

5.3.8. Interfaces F

L'interface F utilisée entre MSCs et supportée par le protocole MAP est utilisée à cet effet. L'interface F est utilisée entre MSC et EIR afin d'échanger des données pour que l'EIR puisse vérifier l'état de l'identité de l'équipement mobile.

5.3.9. Interfaces G

Lorsqu'un abonné mobile se déplace d'une zone contrôlée par un MSC/ VLR à une autre sous la responsabilité d'un autre MSC/VLR, une procédure de mise à jour de localisation a lieu. Cette procédure peut comprendre l'échange de signalisation entre VLRs sur l'interface G afin que le nouveau VLR puisse obtenir de l'ancien VLR, l'IMSI et les triplets d'authentification concernant la station mobile.

Par ailleurs lors d'appels provenant du RTC, l'interface de signalisation entre un Class 5 Switch (Commutateur d'accès du RTC) et le GMSC est ISUP/SS7. La même interface est utilisée entre un MSC et le RTC pour des appels de la station mobile à destination d'un abonné du RTC..

5.4. Routage

Pour établir une communication entre deux stations il faut tenir compte des différences entre le matériel et le logiciel de chaque machine. Ces difficultés pour

établir une communication se multiplient lorsqu'il s'agit d'interconnecter des réseaux mettant en jeu des matériels et des systèmes informatiques très différents. Pour que le réseau fonctionne, il faut utiliser un nombre très grand des machines et que ces appareils soient capables de communiquer entre eux.

5.4.1. Organismes de normalisation

Pour faciliter cette interconnexion, il est apparu indispensable d'adopter des normes. Ces normes sont établies par différents organismes de normalisation.

Le modèle OSI (International Standard Organization) définit de quelle manière les ordinateurs et les périphériques en réseau doivent procéder pour communiquer :

- il spécifie le comportement d'un système dit ouvert ;
- les règles de communication constituent les protocoles normalisés ;
- le modèle OSI est normalisé par l'ISO.

Le modèle OSI se décompose en 7 parties appelées couches suivantes :

- **Physique** : Fournit les moyens mécaniques et électriques nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission des éléments binaires (bits).
- **Liaison** : S'occupe de l'établissement, du maintien et de la libération des connexions, en se basant sur les moyens fournis par la couche physique. Elle s'occupe aussi du partage d'un support physique unique entre plusieurs machines.
- **Réseau** : Doit acheminer des paquets d'information jusqu'à leur destination finale. Elle gère donc les flux d'informations (en évitant les embouteillages), leur routage, ainsi que l'adressage. Elle s'appuie par les moyens fournis par les couches physiques et liaison.
- **Transport** : Complète les fonctions des couches précédentes en gérant les erreurs et en optimisant le transport.
- **Session** : Etablit et maintien des sessions.
- **Présentation** : Formate les données à envoyer dans un format compréhensible pour le destinataire. Elle gère par exemple le cryptage et la compression.

- **Application** : Au-dessus de toutes les autres, représente les applications qui utilisent la connexion réseau, comme par exemple un logiciel de courrier électronique ou un logiciel de transfert de fichiers.

5.4.2. But du routage

Généralement, le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le problème de routage consiste pour un réseau dont les arcs, les nœuds et les capacités sur les arcs sont fixés à déterminer un acheminement optimal des paquets (de messages, de produits, etc.) à travers le réseau au sens d'un certain critère de performance. Le problème consiste à trouver l'investissement de moindre coût en capacités nominales et de réserves qui assure le routage du trafic nominal et garantit sa serviabilité en cas de n'importe quelle panne d'arc ou de nœud. Par exemple si on suppose que les coûts des liens sont identiques, le chemin indiqué dans la figure suivante est le chemin optimal reliant la station source et la station destination. Une bonne stratégie de routage utilise ce chemin dans le transfert des données entre les deux stations.

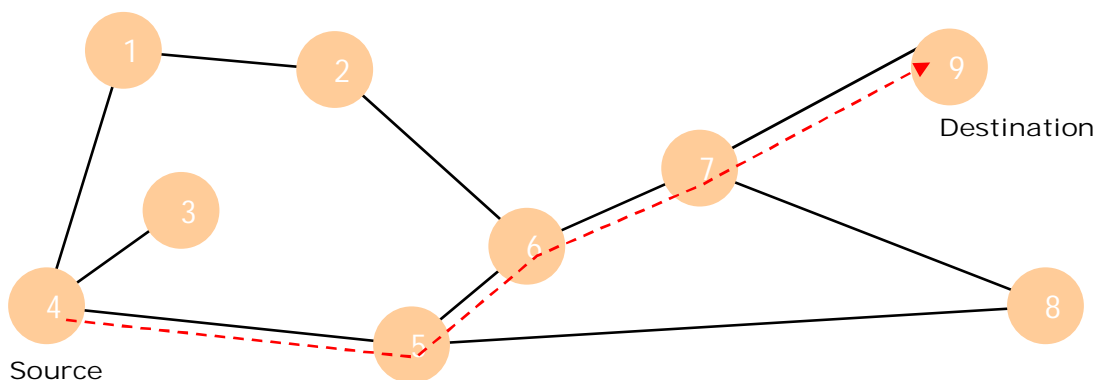


Figure V.8 : Le chemin utilisé dans le routage entre la source et la destination

5.4.3. Routeur

Un **routeur** est un équipement réseau informatique assurant le routage des paquets. Son rôle est de faire transiter des paquets d'une interface réseau vers une autre, au mieux, selon un ensemble de règles. Il y a habituellement confusion entre routeur et relais, car dans les réseaux Ethernet les routeurs opèrent au niveau de la couche 3 du modèle OSI.

5.4.4. Protocole de routage

Un protocole est une méthode standard qui permet la communication entre des processus (s'exécutant éventuellement sur différentes machines), c'est à dire un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication.

Le protocole de routage est un programme qui sert à déterminer la route optimal pour le transfert des données entre deux nœuds. Le routage dans les réseaux mobile est différent de routage traditionnel utilisé dans les réseaux a infrastructure ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont la mobilité, la topologie, la manière de la sélection de la route.

Il est à noter que les protocoles de routage dans les réseaux mobile peuvent être séparés en trois classes essentielles, selon la manière de création et de maintenance de routes lors de l'acheminement des données.

5.4.5. Contraintes de routages dans les réseaux mobiles

Pour assurer la connexion dans les réseaux mobile, plusieurs algorithmes de routage sont mis en œuvre, mais le changement fréquent de topologie de réseau reste un problème à résoudre, donc il est important que toute conception de protocole de routage étudie les problèmes suivants :

- La minimisation de la charge du réseau
- Offrir un support pour pouvoir effectuer des communications multipoints fiables
- Assurer un routage optimal
- Le temps de latence

5.4.6. Classification des protocoles de routage

Il existe différentes stratégies qui utilisent une variété de techniques afin de résoudre le problème de routage dans les réseaux mobile. Parmi lesquelles nous allons citer :

5.4.6.1. Routage hiérarchique ou plat

Dans le routage à plat, les nœuds sont identiques, la décision d'un nœud de router des paquets vers un autre dépendra de sa position, AODV est l'un des protocoles qui utilise cette technique.

Routage hiérarchique : dans cette technique, chaque nœud racine donne des rôles particuliers à des nœuds feuille pour la recherche de bon chemin. Ce processus se répète jusqu'à atteindre tous les nœuds.

5.4.6.2. Routage à la source et le routage saut par saut

Dans la technique du routage à la source, le paquet à envoyer doit contenir la liste des différents nœuds relayeurs vers la destination. Ainsi que le chemin que devra suivre. Le protocole le plus connu se basant sur cette stratégie est DSR.

Dans le routage saut par saut, les chemins sont établis donc le paquet à envoyer doit contenir juste l'adresse du prochain nœud vers la destination. Parmi Les protocoles qui utilisent cette technique est AODV.

5.4.6.3. Routage a état de lien et a Vecteur de distance

Dans un routage à vecteurs de distance, chaque nœud diffuse périodiquement sa table de routage à ses voisins, la table contient les adresses des nœuds destination du réseau et la distance en nombre de sauts pour atteindre chacun d'eux.

Dans un routage a état de liens, chaque nœud vérifie l'état des liaisons avec ces voisins (peut aussi calculer le coût de ces liens), et diffuse un paquet contenant ces informations à tout le réseau.

Le type de routage hybride combine des aspects du routage à état de liens et du routage à vecteur de distance. Cette solution mettant en commun les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpage du réseau.

5.5. Passerelles

Les passerelles, ou gateways, entrent en scène dans les cas les plus complexes pour assurer une compatibilité au niveau des protocoles de couches hautes entre réseaux hétérogènes. Elles permettent à des postes situés sur le réseau local de

dialoguer avec l'application située sur un ordinateur avec une architecture propriétaire.

5.6. Conclusion

La communication sans fil peut être classée en deux catégories : les réseaux avec infrastructure fixe préexistante, et les réseaux sans infrastructure. Dans la première catégorie, le modèle de la communication utilisé est généralement le modèle de la communication cellulaire. Dans ce modèle les unités mobiles sont couvertes par un ensemble de stations de base reliées par un réseau filaire, et qui assurent la connectivité du système. La deuxième catégorie essaie d'étendre les notions de la mobilité à toutes les composantes de l'environnement, toutes les unités du réseau se déplacent librement et aucune administration centralisée n'est disponible. Les réseaux de cette catégorie sont appelés : les réseaux ad hoc.

Conclusion Générale

Depuis quelques temps, une évolution de l'UMTS se développe : l'HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Nous pouvons comparer cette évolution à celle du GPRS avec l'EDGE réalisée pendant la seconde génération de téléphonie mobile.

Simple évolution de l'UMTS

Les réseaux supportant le HSDPA (dits 3.5G) sont dotés d'équipements W-CDMA upgradés pour de meilleures performances. Le coût de l'investissement est moindre puisqu'il s'agit de mises à jour logicielles. Les fréquences utilisées en HSDPA sont les mêmes que pour l'UMTS.

Les canaux de communication sont partagés. Il y a 14 codes en HSDPA contre un seul en UMTS. Le HSDPA propose une répartition dynamique des capacités par les stations de base en fonction des besoins de transmission à un instant t donné. Rappelons qu'en UMTS cela est réalisé en fonction d'un schéma d'émission statique.

Avantages

- Connexion Internet depuis un ordinateur
- Débits élevés
- Contenu multimédia

Inconvénients

- Concurrent du WiMax (30 Mbits/s)
- Changement des équipements usagers

HSDPA vers WIMAX : Le tableau ci-dessous présente les avantages principaux des deux technologies :

HSDPA	WIMAX
Evolution des réseaux GSM et UMTS	pour les zones non couvertes par le DSL
Télévision mobile Haute-Définition	Haut-débit pour les zones denses

Nous pouvons constater que ces deux technologies ne sont pas nécessairement en concurrence. Nous pouvons parler de complémentarité puisque suivant le besoin de l'utilisateur l'une des deux technologies est plus adaptée.

Bibliographie

- [1] A. Delley, M. Francioli et P. Zbinden. Technologies d'accès aux réseaux. Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg. 1999.
- [2] M. Butty. ADSL Connaissances de base. Swisscom SA Network Training. 2000.
- [3] J. C. Bellamy, Digital Telephony, John Wiley & Sons, INC, 2000.
- [4] K. Al Agha, G. Pujolle et G. Vivier. Réseaux sans fil et mobiles. Eyrolles. 2001.
- [5] C. Richard Johnson, Jr. et W. A. Sethares. Telecommunication breakdown, February 2003 Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.
- [6] J. Cellmer, Réseaux cellulaires, Du système GSM au système GPRS, Technique de l'ingénieur, 2004.
- [7] R. L. Freeman, Telecommunications System Engineering, John Wiley & Sons, 2004.
- [8] C. Servin, Réseaux et Telecom, Dunod, 2006.
- [9] L. Ouakil et G. Pujolle, Téléphonie sur IP, 2^{ème} édition, 2008.
- [10] H. Holma et A. Toskala, UMTS : les réseaux mobiles de troisième génération, 2^{ème} édition, 2011.
- [11] F. Ducatelle ; "Adaptive Routing in Ad Hoc Wireless Multi-hop Networks" ; PHD thesis, Università della Svizzera italiana, 2007.