

REPUBLIQUE DU CAMEROUN

Paix - Travail - Patrie

\*\*\*\*\*

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

ECOLE NORMALE SUPERIEURE

\*\*\*\*\*



REPUBLIC OF CAMEROON

Peace - Work - Fatherland

\*\*\*\*\*

UNIVERSITY OF YAOUNDE I

\*\*\*\*\*

HIGHER TEACHER TRAINING COLLEGE

\*\*\*\*\*

**DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE**  
*DEPARTMENT OF PHYSICS*

# M É M O I R E

---

**TECHNIQUE DE DEVELOPPEMENT DES  
RÉSEAUX CELLULAIRES À L'AIDE DES SYSTÈMES  
PHYSIQUES INTELLIGENTS**

---

Présenté et Soutenu en vue de l'obtention du  
**Diplôme de Professeur d'Enseignement Secondaire 2<sup>e</sup> grade  
(DI.P.E.S II)**

Par

**BIYA Arthur Claude**

*Titulaire d'un DI.P.E.S I*

*Licence ès Physiques*

Matricule : **98P029**

Sous la Direction du

**Professeur ATANGANA Jacques**

*Maître de Conférences*

Année Académique **2015-2016**

ations.aux

# **TECHNIQUE DE DEVELOPPEMENT DES RÉSEAUX CELLULAIRES À L'AIDE DES SYSTÈMES PHYSIQUES INTELLIGENTS**

**MÉMOIRE**

Présenté et soutenu en vue de l'obtention du

**Diplôme des Professeurs d'Enseignement Secondaire 2<sup>e</sup> grade**

**(D.I.P.E.S II)**

par :

**BIYA ARTHUR CLAUDE**

Sous la Direction de

**PROFESSEUR ATANGANA JACQUES**

**Maître de Conférences à l'École Normale Supérieure**

Département de **Physique**

**ANNÉE SCOLAIRE 2015-2016**

---

---

# Dédicace

---

Je dédie ce mémoire

à

La famille **BIYA & Fils**

---

# Remerciements

---

Ce travail sanctionne la fin de la deuxième année du deuxième cycle universitaire :

- ♠ le **Seigneur** Tout Puissant pour m'avoir donné le courage, la force et la santé de mener ce travail à bout malgré les difficultés rencontrées ;
- ♠ le Professeur **BEGUIDE BONOMA**, Chef de Département de Physique à l'École Normale Supérieure de Yaoundé pour la disponibilité scientifique et académique au sein du Département ;
- ♠ le Professeur **OWONO OWONO Luc Calvin**, Directeur des Études à l'École Normale Supérieure pour tous ses enseignements, ses conseils et son engagement dans le Département ;
- ♠ le Professeur **ATANGANA Jacques**, mon directeur de recherche, pour la disponibilité, l'hospitalité et l'intérêt qu'il m'a accordé tout au long de l'année, me permettant ainsi de mettre sur pied ce mémoire.
- ♠ Toute ma gratitude va également à tous les **Enseignants du Département de Physique** de l'École Normale Supérieure du Yaoundé .
- ♠ Toute ma reconnaissance à tous les **Enseignants** qui de la Maternelle au Supérieure ont contribué à forger mon être ;
- ♠ à la famille **MANDENG**, **mes frères et soeurs** pour le soutien et pour toute l'affection dont ils m'ont toujours comblé ;
- ♠ toute ma gratitude va également à Mme **ESSAMBITA Nadège Valerie** . et sa famille ;
- ♠ à tous mes camarades de promotion ;
- ♠ à tous mes amis, qui étaient à mes cotés aux lieux fraternels et amicaux qui ont germé dans mon esprit.

---

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

---

## A

- AMPS : Advanced Mobile Phone System  
AUC : Authentication Centre  
AM : Amplitude Modulation  
ARQ : Automatic Repeat Request  
ART : Agence de Régulation des Télécommunications  
ASK : Amplitude-Shift Keying  
AT&T : American Telephone & Telegraph

## B

- BCC : Broadcast Call Control  
BCCH : Broadcast Control CHannel  
BER : Bit Error Rate  
BG : Border Gateway  
BSC : Base Station Controller,  
BSS : Base Station Subsystem  
BTS : Base Tranceiver Station  
BSS : Base Station Sub-system

## C

- CC : Call Control  
CCCH : Common Control CHannel  
CCIR : Comité Consultatif International des Radiocommunications  
CDMA : Code Division Multiple Access  
 $\frac{C}{I}$  : Carrier to Interférence Ratio

---

**C**

CM : Connection Management  
CQI : Channel Quality Indicator  
CRC : Cyclical Redundancy Check  
CS : Control Switched

**D**

DCA : Dynamic Channel Assignment  
DCS : Digital Communication System  
DF : Dedicated Files  
DL : Downlink

**E**

EEPROM : Electrical Erase Programmable Read Only Memory  
EDGE : Enhanced Data Rates for GSM Evolution.  
EF : Elementary Files  
EIR : Equipment Identity Register  
ETACS : Extended Total Access Communication System

**F**

FACCH : Fast Access Control CHannel  
FCA : Fixed Channel Assignment  
FCCH : Frequency Control CHannel  
FCS : Frame Check Sequence  
FDD : Frequency Division Duplex  
FDM : Frequency Divison Multiplexing  
FDMA : Frequency Division Multiple Access  
FH : Faisceau Hertzien  
FHA : Faisceau Hertzien Analogique  
FHN : Faisceau Hertzien Numérique  
FM : Frequency Modulation  
FN : Frame Number  
FSK : Frequency Shift Keying

---

**G**

GCC	: Group Call Control
GGSN	: Gateway GPRS Support Node
GPRS	: General Packet Radio Service
GMSC	: Gateway Mobile Switching Centre
GSM	: Global System for Mobile communications

**H**

HARQ	: Hybrid Automatic Repeat reQuest
HCA	: Hybrid Channel Assignment
HLR	: Home Location Register
HSDPA	: High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	: High Speed Dedicated Shared CHannel
HSN	: Hopping Sequence Number
HS-PDCCH	: High Speed Physical Dedicated Control CHannel
HS-PDSCH	: High Speed Physical Dedicated Shared CHannel
HS-SCCH	: High Speed Shared Control CHannel

**I**

IMEI	: International Mobile Equipment Identity
IMT	: International Mobile Telephony
IMTS	: Improve Mobile Telephone Service
IMSI	: International Mobile Subscriber Identity
IP	: Internet Protocole
ISDN	: Integrated Services Digital Network
Iu	: Interface UMTS
Iub ou Iubis	: Interface UMTSbis
Iur	: Interface UMTS-RNC

**L**

LA	: Local Area
LAP-Dm	: Link Access Protocol on the Dm Channel
LTE	: Long Term Evolution

---

**M**

MAC	: Medium Access Control
MAIO	: Mobile Allocation Index Offset
MF	: Master Files
MIC	: Modulation par impulsions et codage
MM	: Mobility Management
MMS	: Multimedia Message Service
MS	: Mobile Station
MSC	: Mobile Switching Center)
MSISDN	: Mobile Station ISDN Number
MTS	: Mobile Telephone Service

**N**

NMC	: Network Management Centre
NRZ	: Non Return to Zero
NRZI	: Non Return to Zero Inverted
NSS	: Network Station Subsystem

**O**

OFDMA	: Orthogonal Frequency Division Multiple Access
OMC-R	: Operation and Maintenance Centre Radio
OMC-S	: Operation and Maintenance Centre Switching
OSS	: Operation Sub-System

**P**

PCM	: Pulse Code Modulation
PDCP	: Packet Data Convergence Protocol
PHY	: Physical Layer
PLMN	: Public Land Mobile Network
PTMP	: Point to Multi Point
PTP	: Point to Point
PS	: Packet Switched
PSK	: Phase Shift Keying

---

**Q**

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying  
QoS : Quality Of Service

**R**

RAM : Random Access Memory  
RLC : Radio Link Control  
RNC : Radio Network Controller  
RNIS : Réseau Numérique à Intégration de Système  
ROM : Read Only Memory  
RR : Radio Ressource  
RRC : Radio Ressource Control  
RTC : Réseau Téléphonique Commuté  
RTCP : Réseau Téléphonique Commuté Public

**S**

SACCH : Standalone Access Control CHannel  
SCH : Synchronous CHannel  
SDCCH : Standalone Dedicated Control CHannel  
SFH : Slow Frequency Hopping  
SIM : Subscriber Identity Module  
SIR : Signal to Interface Radio  
SGSN : Serving GPRS Support Node  
SMS : pour Short Message Service  
SS : Supplementary Service

**T**

TACS : Total Access Communication System  
TCH : Traffic CHannel  
TDMA : Time Division Multiple Access  
TMN : Telecommunication Management Network  
TTI : Transmission Time Interval

**U**

- UE : User Equipment
- UL : Uplink
- UMTS : Universal Mobile Telecommunications Service
- UTRA : UMTS Terrestrial Radio Access
- UTRAN : Universal Terrestrial Radio Interface Network

**V**

- VLR : Visitor Location Register

---

# Table des matières

---

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table des matières	xi
Resumé	xii
Abstract	xiii
Liste des tableaux	xiv
Liste des figures	xvi
Introduction générale	1
<b>1 GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX MOBILES</b>	<b>3</b>
1.1 Rappel sur le faisceau Hertzien (FH) . . . . .	3
1.1.1 Généralités sur le FH . . . . .	3
1.1.2 Les liaisons radioélectriques . . . . .	4
1.1.3 Les fréquences porteuses . . . . .	5
1.1.4 Les modulations utilisées en FH . . . . .	6
1.2 Gestion de la bande de fréquence . . . . .	8
1.2.1 Attribution de la bande de fréquence . . . . .	8
1.2.2 Principe de réutilisation des ressources . . . . .	8
9	
1.2.4 Notion sur les brouillages . . . . .	10
1.2.5 Saut de fréquence : « Frequency Hopping » . . . . .	11

1.2.6	Les bandes de fréquences . . . . .	13
1.3	Architecture cellulaire . . . . .	13
1.3.1	Principes du réseau de téléphonie cellulaire . . . . .	14
1.3.2	Le concept cellulaire . . . . .	15
1.3.3	Définition d'une cellule . . . . .	15
1.3.4	Types des cellules . . . . .	16
1.3.5	Concept de mobilité . . . . .	17
1.3.6	Forme d'une cellule . . . . .	17
1.4	Origine du terme téléphonie Mobile . . . . .	18
1.4.1	les motivations . . . . .	18
1.4.2	La réalisation . . . . .	18
1.4.3	Un outil social . . . . .	19
1.5	Infrastructure du réseau de base : GSM . . . . .	20
1.5.1	Description . . . . .	20
1.5.2	Les équipements d'un réseau GSM . . . . .	21
1.5.3	Architecture physique du sous système radio BSS . . . . .	22
1.5.4	Architecture physique du sous système fixe NSS . . . . .	25
1.5.5	Architecture logique du Sous système d'exploitation et de maintenance OSS . . . . .	29
1.6	Présentation des interfaces . . . . .	30
1.7	Les différentes générations . . . . .	31
1.7.1	la génération zéro . . . . .	31
1.7.2	La Première génération . . . . .	32
1.7.3	La deuxième génération . . . . .	33
1.7.4	La troisième génération . . . . .	38
1.7.5	La quatrième génération . . . . .	38
<b>2</b>	<b>TECHNIQUE DE TRANSMISSION DANS LE RÉSEAU GSM</b>	<b>40</b>
2.1	Architecture logique du réseau mobile . . . . .	40
2.2	Architecture réseau en couches (modèle OSI) . . . . .	41
2.2.1	Couches réseaux gérées par le sous système radio (BSS) . . . . .	42
2.2.2	Couches réseaux gérées par le sous système fixe (NSS) . . . . .	43
2.3	Les méthodes d'accès aux réseaux . . . . .	43
2.3.1	Le FDMA . . . . .	43
2.3.2	Le TDMA . . . . .	44

2.3.3	Le CDMA . . . . .	45
2.3.4	Formation de la trame . . . . .	46
2.3.5	L'allocation de ressources . . . . .	48
2.3.6	L'atténuation ou l'affaiblissement . . . . .	49
2.3.7	Les schémas d'allocation de ressources . . . . .	49
2.4	La technique de commutation des informations . . . . .	50
2.4.1	Commutation des informations . . . . .	51
2.4.2	Principe de commutation . . . . .	52
2.4.3	Types de commutation de paquets . . . . .	52
2.4.4	Le transport des données . . . . .	55
2.5	Les techniques de transmission dans un réseau mobile . . . . .	55
2.5.1	Caractéristiques des supports de transmission . . . . .	56
2.5.2	Mode d'exploitation . . . . .	56
2.5.3	La transmission numérique . . . . .	57
2.5.4	Le codage de l'information numérique . . . . .	57
2.5.5	Protection contre les erreurs de transmission . . . . .	59

### **3 APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE TRANSMISSION GSM**

#### **63**

3.1	La technique d'acheminement des appels . . . . .	63
3.1.1	Principales entités intervenant dans l'acheminement d'appel	63
3.1.2	Les protocoles et messages . . . . .	64
3.1.3	Appel entrant à destination d'un abonné de réseau mobile localisé dans son réseau nominal . . . . .	66
3.1.4	Appel sortant à destination du RTC . . . . .	67
3.1.5	Appel sortant à destination d'un autre mobile . . . . .	68

#### **Implication dans le système éducatif 70**

#### **Conclusion 72**

---

---

# RESUMÉ

---

Durant des siècles l'homme a su se contenter de la parole ou des écrits comme seuls moyens de communication entre deux personnes éloignées d'une distance importante. Effectivement soit on envoyait un messager restituant le message qu'on lui avait appris, soit il remettait le message écrit qu'on lui avait remis.

En 1876 Graham Bell ne devait pas savoir qu'il révolutionnerait à ce point la vie de tout un chacun en inventant le téléphone. Le transport de la voix pouvait se faire grâce à une paire de fils reliant deux appareils. Le 3 avril 1973 Cooper s'est lancé sur la Sixième Avenue de Manhattan, muni d'un portable qui avait la taille d'une brique. En 1987 l'Europe adopte un standard européen pour mettre fin à la cacophonie qui règne en matière de réseau de radiotéléphone. C'est à partir de là qu'est né le GSM (Global System for Mobile communications). Il s'agit d'un standard de deuxième génération.

Le GSM est un système sans fil basé sur un découpage du territoire en cellules. Dans une cellule, un mobile communique avec la station de base sur un des canaux disponibles et la puissance d'émission du mobile s'adapte à la situation pour assurer une qualité correcte.

Pour la transmission, la voix est digitalisée et subit une compression de débit, puis les données binaires sont filtrées pour limiter l'encombrement spectral.

---

# ABSTRACT

---

For centuries, man has used verbal and written messages as the only means of communication between people. This was done through a messenger who either said what he was told or gave what was written.

In 1876, Graham Bell revolutionised the lives of many people through the invention of the telephone. Voice mail could be sent with the help of a pair of cable linking two devices. On the 3rd April, 1973, Cooper developed a cell phone (the size of a brick) at the Sixth Avenue Manhattan. In 1987, Europe adopted a standard to put an end to the chaos that reigned in the radiotelephone network. It is from here that the Global System for Mobile Communication (G.S.M) was born, which represents a second generation standard.

The G.S.M is one without cables based on the division of air space in cells. Within a cell, a mobile link relays with the mother station through the available channels to give the correct frequency.

In transmission, the voice is digitalised and undergoes a compression in band width. This filters the binary data to limit spatial obstruction.

---

---

# Liste des tableaux

---

1.1	Bande de fréquences des réseaux GSM900 . . . . .	13
1.2	Présentation des différentes interfaces . . . . .	31
1.3	Critères de base sur le débit et sur la latence . . . . .	39

---

# Table des figures

---

1.1	liaison entre émetteurs et récepteurs . . . . .	4
1.2	Représentation des écarts de fréquence . . . . .	6
1.3	Exemple de motif à 3 cellules (les cellules portant le même chiffre utilisent la même fréquence). . . . .	9
1.4	Motif de taille 7, la fréquence indiquée est celle de la voie balisée .	10
1.5	Saut de fréquence . . . . .	11
1.6	Architecture cellulaire . . . . .	14
1.7	Site équipé de trois antennes . . . . .	14
1.8	Concept de cellule . . . . .	15
1.9	Fonctionnement d'un système de cellule . . . . .	16
1.10	Architecture d'un réseau cellulaire GSM . . . . .	20
1.11	BSS : Base Station Subsystem . . . . .	22
1.12	NSS : Network Switching Subsystem . . . . .	25
1.13	Gestionnaire des informations . . . . .	26
1.14	Handover . . . . .	27
1.15	Téléphone 0G . . . . .	32
1.16	Le Motorola Dynatac 8000x. Commercialisé pour 3 995 dollars, il dispose d'une autonomie d'une heure, la recharge en prenant pas moins de dix. . . . .	32
1.17	Le Nokia 1011, le premier téléphone GSM produit en masse. Haut de 19,5 cm, il pèse 476 grammes. . . . .	34
1.18	Le Nokia 7110, premier téléphone avec un navigateur WAP. . . . .	35
1.19	L'iPhone original exploitait à fond les capacités des réseaux EDGE.	36
2.1	Architecture réseau . . . . .	41
2.2	Le FDMA(Frequency Division Multiple Access), ou multiplexage fréquentiel. . . . .	45

---

2.3	Le TDMA (Time Division Multiple Access), ou multiplexage temporel. . . . .	45
2.4	Le CDMA (Code Division Multiple Access), ou multiplexage par code. . . . .	46
2.5	Organisation des trames . . . . .	48
2.6	Canaux logiques GSM . . . . .	48
2.7	Commutation des informations . . . . .	51
2.8	Commutation à 6 liaisons . . . . .	52
2.9	Composition d'une information de données . . . . .	54
2.10	Transmission simplex . . . . .	56
2.11	Transmission full duplex . . . . .	56
2.12	Représentation d'un signal numérique . . . . .	57
2.13	Place du codeur et du décodeur . . . . .	59
2.14	Stratégie de protection contre les erreurs . . . . .	60
3.1	Protocole et messages . . . . .	65
3.2	Appel entrant à destination d'un abonné de réseau mobile localisé dans son réseau nominal . . . . .	67
3.3	Appel sortant à destination du RTC . . . . .	68
3.4	Appel mobile-mobile . . . . .	69

---

# INTRODUCTION

---

Les échanges d'informations ou de communication ont été à l'origine des premiers réseaux de télécommunications. Les progrès de l'informatique, la numérisation de l'information et la banalisation de l'internet ont fait converger les réseaux téléphoniques vers les réseaux informatiques avec une volonté d'unification.

Un autre concept est à prendre en considération : le développement de la mobilité en télécommunication qui permet le passage de terminaux "fixes", c'est à dire reliés "en dur" au réseau, à des terminaux mobiles transportés par l'utilisateur et connectables à n'importe quel pont géographique (en principe ). Pour la téléphonie, cette tendance a conduit au développement de réseaux d'accès mobiles de type cellulaire.

Les premiers réseaux de ce type étaient basés sur le transport d'informations analogiques comme l'était, au départ, la téléphonie fixe. Ces premiers réseaux sont qualifiés de génération zéro et 1<sup>re</sup> génération. Le plus connu, en France était Radiocom 2000. Ces réseaux ont laissé assez rapidement la place à une nouvelle génération (2<sup>e</sup> génération) mettant en application les technologies numériques. Elles ont notamment donné naissance aux réseaux GSM<sup>1</sup>(en Europe), PDC<sup>2</sup> (au Japon) et PCS<sup>3</sup>(aux Etats-Unis).

Une famille de normes (UMTS<sup>4</sup>) conduit à une 3<sup>e</sup> génération (3G) de réseaux et de terminaux mobiles. En fait, il existe une génération intermédiaire appelée 2,5G dont des représentants sont le GPRS<sup>5</sup> et EDGE.<sup>6</sup>

---

1. **GSM** : *Global System for Mobile communication* : Nom du standard européen du système radio cellulaire numérique.

2. **PDC** : *Personal Digital Cellular*, technologie de téléphonie mobile de seconde génération

3. **PCS** : *Personal Communication System*

4. **UMTS** : *Universal Mobile Telecommunication System*

5. **GPRS** : *General Packet Radio Service*. Service de transmission de données basé sur GSM par paquets y compris sur la voie radio. Par extension, éléments du réseau assurant ce service

6. **EDGE** : *Enhanced Data rates for the GSM Evolution* Evolution de GSM qui permet une augmentation des débits grâce à l'utilisation d'une modulation de phase à 8 états.

Aujourd'hui nous avons LTE (Long Term Evolution), qui constitue un système dit de 4<sup>e</sup> génération.

Nous présenterons dans le chapitre 1 les généralités et le chapitre 2 la transmission dans les réseaux mobiles. Nous achèverons dans le chapitre 3 l'application de la technique de transmission GSM.

## GÉNÉRALITÉS SUR LES RÉSEAUX MOBILES

---

### 1.1 Rappel sur le faisceau Hertzien (FH)

#### 1.1.1 Généralités sur le FH

Les systèmes radio sont des supports de transmission qui utilisent la propagation des ondes radio électriques pour véhiculer les informations d'un point à un autre, on les appelle généralement faisceaux hertziens. Un faisceau hertzien est donc, un système de transmission numérique ou analogique, entre deux points fixes par ondes électromagnétiques. Les ondes utilisées par ces systèmes sont très courtes (ondes radioélectriques très fortement concentrées à l'aide d'antennes directives). Pour la communication terrestre on utilise : 1,5 à 30 GHz, il peut aussi commencer à des fréquences 400 MHz à 1000 GHz dont l'affaiblissement croît avec le carré de la distance (moins rapidement que sur un câble où l'affaiblissement est exponentiel). Leur propagation est limitée à l'horizon d'où ces proches (liaisons point à point) entre stations en visibilité. Du fait de l'absence de tout support physique entre les stations, les faisceaux hertziens peuvent surmonter plus facilement des difficultés des parcours et franchir des obstacles naturels tels que : étendues d'eau, terrains montagneux, terrains fortement brisés etc. Par rapport aux systèmes sur câbles à coaxiales qui transmettent directement la bande de fréquence résultant du multiplexage, les FH nécessitent une modulation supplémentaire pour faire porter cette bande de base par les ondes radioélectriques hyperfréquences. Le faisceau est un support de type pseudo-4 fils. Les deux sens de transmission sont portés par des fréquences différentes. Pour des raisons de distance et de visibilité, le trajet hertzien entre l'émetteur et le récepteur amplifie et remet le signal modulé vers la station suivante.

### 1.1.2 Les liaisons radioélectriques

Les liaisons radioélectriques utilisent la propagation des ondes électromagnétiques dans l'air libre. Elles ont l'avantage de ne pas nécessiter de lourds travaux d'infrastructures. Cependant le support utilisé est commun pour tous. Les bandes de fréquence représentent donc une ressource rare et leur utilisation est réglementée par des organismes officiels nationaux. Étant donné que les bandes de fréquence utilisées sont imposées, le signal à transmettre sera toujours transposé en fréquence par modulation. Une liaison peut s'établir en visibilité directe entre plusieurs stations sur des points hauts. Elle a une portée variant de 10 à 60 Km, mais la distance qui est souvent utilisée est de 50 Km.

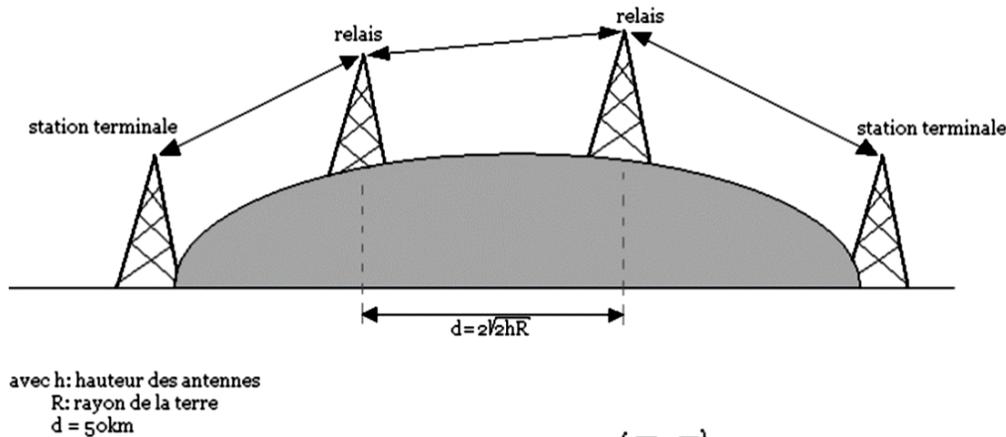


FIGURE 1.1 – liaison entre émetteurs et récepteurs

La distance entre deux tronçons ou bonds est :

$$D = 3,6(\sqrt{H_e} + \sqrt{H_r}) \quad (1.1)$$

D = distance en Km

$H_e$  = hauteur de l'antenne d'émission par rapport au plan horizontal (mètre)

$H_r$  = hauteur de réception par rapport au plan horizontal (mètre)

Le bon fonctionnement des liaisons FH est conditionné par les caractéristiques des bonds radioélectriques entre les stations et par celles des antennes utilisées. Ces bonds sont en visibilité directe donc dégagés de tout obstacle et avec des réflexions, des phénomènes de réfraction et de diffraction négligeables. On peut classer les FH en deux catégories :

1. Les faisceaux Hertziens analogiques (FHA) utilisés principalement pour :
  - (a) la transmission des multiplex analogiques dont la capacité va de quelques voies téléphoniques à 2700 voies téléphoniques,
  - (b) la transmission des images TV, et des voies de sons qui leur sont associées et aussi d'autres signaux tels que les données.
2. Les faisceaux Hertziens numériques (FHN) qui acheminent principalement :
  - (a) des multiplex numériques dont les débits vont de 2 Mbits/s à 140 Mbits/s,
  - (b) des données à grande vitesse,
  - (c) le visiophone,
  - (d) la télévision codée, etc...

Les deux types de FH sont différents par nature de signaux qu'ils transportent et par leur type de modulation. Les plans des fréquences établis par le CCIR peuvent être utilisés indifféremment par les FHA ou les FHN.

### 1.1.3 Les fréquences porteuses

A l'exception de quelques systèmes fonctionnant dans les bandes 70-80 MHz (FH à bande étroites) et 400-470 MHz (FH à petite capacités), les faisceaux hertziens utilisent des fréquences supérieures à 1,5 GHz (ondes centimétriques). Entre 2 et 11 GHz, l'établissement des liaisons ne pose pas de problèmes majeurs (conditions de propagation, mais au delà de 11 GHz, il faut tenir compte de l'absorption par les hydrométéores. Cette absorption croît avec la fréquence et devient très importante aux alentours de 22 GHz. Ce qui limite les fréquences porteuses à 21 GHz mais certaines bandes des fréquences généralement comprennent entre 2 et 1,5 GHz. Cette large gamme de fréquence est subdivisée en plusieurs parties appelées bande de fréquence. Chacune de cette bande étant décomposée en canaux dont la disposition est normalisée internationalement par le CCIR.

1. Chaque bande peut être divisée en deux spots bandes espacées par un intervalle de garde.
2. Le choix des sous bandes à utiliser pour l'émission est celle à utiliser pour la réception et dépend de l'utilisateur.
3. Les sous bandes sont à leur tour subdivisées en canaux de 14 à 140 MHz de largeur (pour les FH de grande capacité) ou 7 MHz (capacité inférieure ou égale à 300 voies).

4. La disposition des canaux est normalisée par le CCIR.
5. Chaque canal a une capacité en fonction de sa largeur, qui peut aller jusqu'à un débit de 140 Mbits/s  
 FHN à moyenne et forte capacité : bande 7,4 à 7,7 GHz (utilisée également par les FHA)  
 FHN à faible débit ( 2 et 8 Mbits) :
6. Bande 2,1 à 2,3 GHz (subdivisée en six canaux espacés de 14 MHz)
7. Bande des 15 GHz (2 sous bandes de : 14,4 à 14,5 GHz et 15,25 à 15,35 GHz) possible de les subdiviser en 4 canaux de 10 MHz chacune.

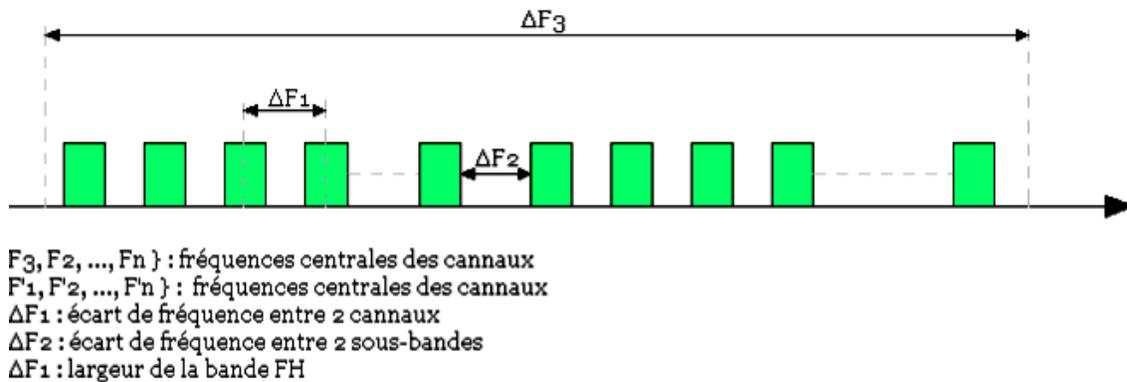


FIGURE 1.2 – Représentation des écarts de fréquence

### 1.1.4 Les modulations utilisées en FH

Les équipements radio analogiques et numériques sont différents fondamentalement par le type de modulation qu'ils utilisent. Pendant que les FHA utilisent la modulation de fréquence, les FHN utilisent les modulations par sauts de phase ou multi états (multi niveaux) ou modulation sur fréquence porteuse.

#### 1.1.4.1 Modulation pour faisceaux hertziens analogiques

En modulation d'amplitude, l'information utile est véhiculée par l'amplitude du signal porteur. Or en réception, les éléments traversés par le signal présentent parfois des non linéarités en amplitude, ce qui altère la qualité du signal après démodulation. En plus de cet inconvénient, en modulation d'amplitude, la propagation de la porteuse dans l'atmosphère entraîne des variations du niveau de réception d'où après la démodulation, le signal présente des parasites. En tenant

compte de ces phénomènes, le choix s'est porté sur la modulation de fréquence pour les FHA car cette modulation ne présente par les défauts ci-dessus cités, les modulations et démodulations de fréquence sont de réalisations plus faciles.

#### 1.1.4.2 Modulation pour faisceaux hertziens numériques

Les modulations analogiques, mises au point pour adapter le signal analogique à son support de transmission ne peuvent pas être utilisées pour les signaux numériques. Il a été conçu pour ces signaux un type particulier de modulation dit modulation numériques ou modulation sur fréquence porteuse : ASK<sup>1</sup>, FSK<sup>2</sup> et PSK<sup>3</sup>. Mais, c'est la modulation à saut de phase (PSK) ou modulation multi états qui est généralement utilisées. Aujourd'hui on trouve généralement le QPSK<sup>4</sup> qui tend à être la norme pour la modulation sur fréquence porteuse. Cependant, pour mieux conserver la bande passante, la modulation QAM<sup>5</sup> est aussi utilisée. Dans la modulation multi états, une porteuse SHF est également utilisé. Elle est sinusoïdale et peut donc être définie en termes d'amplitude, de fréquence ou de phase modulée par rapport à la phase ou à l'amplitude.

Dans un train binaire, lorsqu'il y a changement entre deux éléments binaires successifs, on procède à un changement d'état. Le signal binaire généralement a un rythme ou horloge. L'idéal serait d'avoir une modulation cohérente, mais, à des débits élevés, il est difficile de conserver la cohérence. La modulation est alors de type non cohérent.

En général, les FHN à moyenne et grande capacité utilisent une modulation 4 états de phase avec modulation d'une fréquence intermédiaire de 70 MHz ou de 140 MHz. Mais aujourd'hui la limite supérieure est connue seulement par le type de système de transmission.

- 
1. **ASK** modulation d'amplitude
  2. **FSK** : modulation de fréquence pour des signaux numériques
  3. **PSK** : Modulation de phase à plusieurs états.
  4. **QPSK** : est un algorithme à modulation de fréquence, où la phase de l'onde porteuse est modulée pour coder les bits d'informations numériques dans chaque changement de phase.
  5. **QAM** est une forme de modulation d'une porteuse par modification de l'amplitude de la porteuse elle-même et d'une onde en quadrature

## 1.2 Gestion de la bande de fréquence

### 1.2.1 Attribution de la bande de fréquence

L'attribution de bande de fréquence est l'un des paramètres les plus importants de la gestion des ressources radios. La plus part des pays a sa propre autorité de régulation de l'utilisation des fréquences. Par exemple au Cameroun, c'est l'ART<sup>6</sup> qui s'occupe de l'attribution des bandes de fréquences.

### 1.2.2 Principe de réutilisation des ressources

Les ondes radioélectriques sont aujourd'hui le seul moyen pour rendre possible les communications mobiles. Malheureusement, le spectre radioélectrique est une ressource limitée. Le concept de motif cellulaire a donc été introduit pour permettre la réutilisation d'une même fréquence dans des endroits différents.

Le principe de la réutilisation des fréquences repose sur l'atténuation que subissent les ondes radio lorsqu'elles se propagent dans l'atmosphère. Lorsqu'on se trouve assez loin d'un émetteur, le signal envoyé par celui-ci est très faible. On peut alors utiliser la même fréquence que l'émetteur lointain sans crainte d'interférences, le signal local étant beaucoup plus puissant que le signal lointain.

Le GSM<sup>7</sup> utilise donc un réseau maillé, formé d'émetteurs disséminés sur la zone à couvrir. Deux émetteurs voisins utilisent des fréquences différentes, mais des émetteurs éloignés réutilisent les mêmes fréquences selon le principe énoncé plus haut. En pratique, le terrain est "découpé" en petites zones, appelées cellules, caractérisées chacune par une fréquence précise. On réunit un certain nombre de cellules utilisant des fréquences différentes pour former un motif. On répète alors ce motif pour couvrir tout le territoire, permettant ainsi à partir d'un nombre de fréquences limité de mettre en place un grand nombre d'émetteurs.

---

6. **ART** : Agence de Régulation des Télécommunications

7. **GSM** : Norme numérique européenne utilisant plusieurs bandes de fréquences notamment à 900 et 1800 MHz.

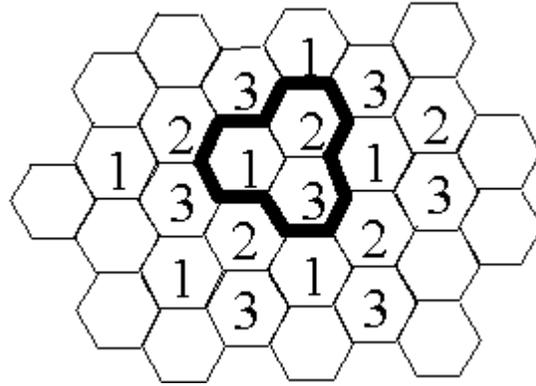


FIGURE 1.3 – Exemple de motif à 3 cellules (les cellules portant le même chiffre utilisent la même fréquence).

Chaque émetteur nécessite une infrastructure complexe pour fonctionner et dialoguer tant avec l'ensemble du réseau qu'avec les téléphones mobiles présents sur sa zone de service. On appelle cette infrastructure "station de base". Un réseau de radiotéléphonie cellulaire se compose donc d'un ensemble de stations de base réparties sur la zone géographique à couvrir.

### 1.2.3 Code de couleur BSIC<sup>8</sup>

La même fréquence peut être utilisée pour supporter la voie balise de deux stations suffisamment éloignées. Les deux stations ne se brouillent pas sur leur zone de service respective mais un mobile situé à mi-distance peut recevoir alternativement l'une ou l'autre station avec un niveau de champ suffisant. Afin de différencier les deux stations, on utilise le code de couleur BSIC. Le couple (fréquence, BSIC) permet sur une zone donnée de déterminer parfaitement une cellule. A l'intérieur d'un motif, on utilise le même BSIC. Ainsi, les cellules voisines (cellules de fréquences de voie balise identique) ne font pas parties du même motif.

8. **BSIC** :est un code utilisé dans GSM pour identifier une station de base

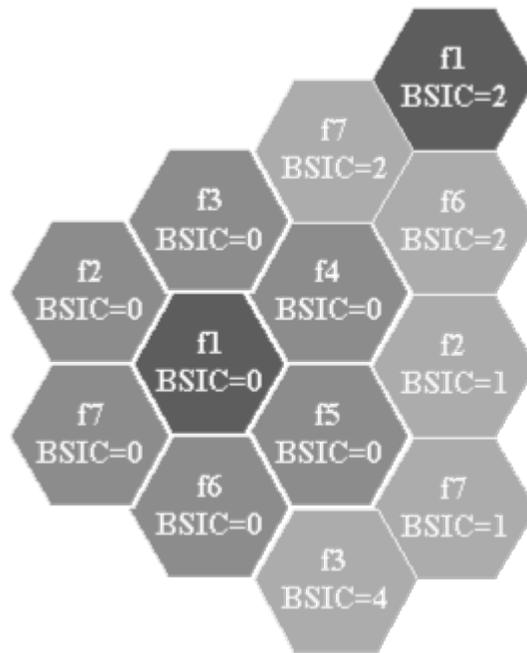


FIGURE 1.4 – Motif de taille 7, la fréquence indiquée est celle de la voie balisée

#### 1.2.4 Notion sur les brouillages

Comme déjà mentionné, un des principes de base du GSM est la réutilisation des fréquences. Cela entraîne ainsi des recouvrements de spectre concernant un même canal présent sur deux sites différents. De plus, du fait de la non-perfection des filtres présents à l'émission des ondes électromagnétiques, la bande de 200 kHz séparant deux canaux GSM adjacents n'est pas suffisante pour se prémunir contre les brouillages adjacents.

Ainsi pour se prémunir contre des brouillages internes au réseau, il convient de vérifier les règles suivantes :

- en co-canal : le rapport signal à bruit doit être supérieur à 9 dB
- en canal adjacent : le rapport signal à bruit doit être supérieur à -9 dB.

Ainsi, lors de la planification des fréquences sur les sites du réseau, les règles élémentaires suivantes sont systématiquement respectées :

- sur une même cellule : les fréquences utilisées doivent être distantes d'au moins 600 MHz, soit trois canaux d'écart.
- sur un même site (dans le cadre de la trisectorisation) : les fréquences utilisées doivent être distantes d'au moins 400 MHz, soit deux canaux d'écart.

### 1.2.5 Saut de fréquence : « Frequency Hopping »

A l'origine, le mécanisme de saut de fréquence fut introduit dans les systèmes militaires. Ce procédé est utilisé aujourd'hui partout dans le monde. Il consiste pour un émetteur à changer régulièrement de fréquence pour obtenir une diversité de fréquence et ainsi, diversifier ses brouilleurs. L'interface radio du GSM utilise le saut de fréquence lent appelé SFH, qui consiste à changer de fréquence à chaque émission de message ou de burst<sup>9</sup>. Il permet de lutter contre les évanouissements sélectifs (diversité de fréquence) et apporte une gestion différente en moyennant le niveau d'interférence global sur toutes les porteuses (diversité des brouilleurs).

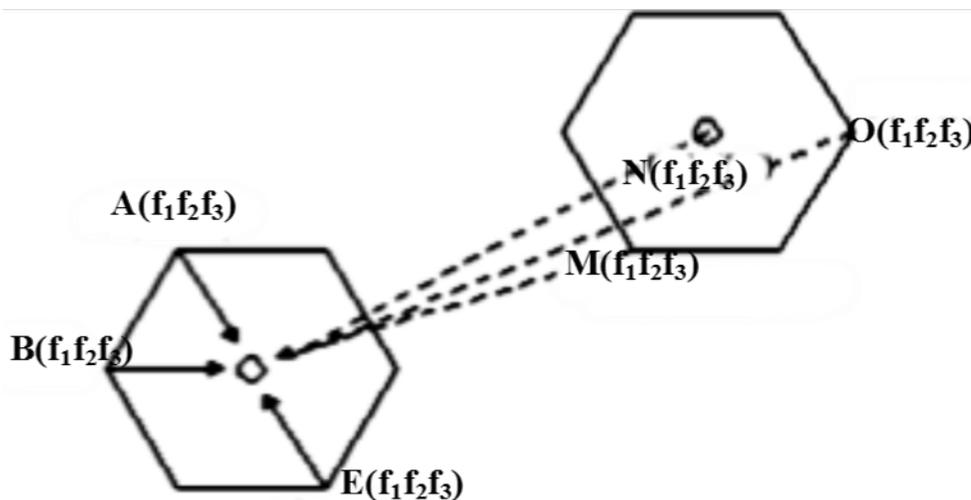


FIGURE 1.5 – Saut de fréquence

En changeant de fréquence à chaque émission de burst ou de message, le mobile est brouillé par des mobiles différents à chaque émission. Ainsi, le pire des cas peut toujours se produire mais seulement de temps en temps. Grâce à l'efficacité du codage et de l'entrelacement, le signal peut être correctement reçu même si le rapport C/I de certains échantillons est inférieur au seuil de la communication. Dans l'exemple ci-dessus, le signal venant de A est interféré par M, N et O. Mais le fait que le rapport moyen soit supérieur au seuil de la communication fait que la communication n'est pas brouillée. Ensuite, on numérote les fréquences de saut de 0 à N-1 et un algorithme, défini dans la norme, génère une suite pseudo-aléatoire de nombres ( $s_i$ ) avec  $0 \leq s_i \leq N-1$ . Il utilise comme argument le numéro de

9. **burst** ; c'est un bloc de données transmis en une fois.

trame<sup>10</sup> FN<sup>11</sup>, chaque trame TDMA<sup>12</sup> étant repérée par ce compteur dans l'hypertrame, et un paramètre HSN<sup>13</sup> compris lui aussi entre 0 et 63. La BTS précise au mobile un index MAIO<sup>14</sup> compris entre 0 et N-1 lors de l'allocation d'un canal. Le mobile peut alors déterminer la fréquence à utiliser en ajoutant (modulo N) l'index MAIO au nombre si. Le nombre N de fréquences à prendre en compte est précisé pour chaque numéro de slots.

En combinant la technique TDMA et la technique du saut de fréquence FH, on obtient la méthode de base d'accès du GSM : FH/TDMA. Le saut de fréquence n'est pas activé lorsque la charge du réseau est faible mais lorsque le SFH est actif, le canal physique utilise un ensemble de porteuses parcourues selon une séquence de saut. Cette séquence peut être cyclique ou pseudo-aléatoire, et elle est définie sur un ensemble de N ( $\leq 64$ ) fréquences attribuées à la BTS. Le saut de fréquence n'est possible qu'au sein d'une même bande, il n'y a pas pour l'instant de combinaisons de fréquences entre GSM 900 et DCS<sup>15</sup>1800.

On distingue deux types de saut de fréquence :

—le saut de fréquence en bande de base : Comme d'habitude, à chaque TRX<sup>16</sup> installé sur la cellule, on fait correspondre une fréquence particulière. C'est le Time Slot<sup>17</sup> considéré qui « saute » sur tous les TRX toutes les trames TDMA. Le Time Slot 0 de la FU1, qui correspond au BCCH,<sup>18</sup> ne saute pas.

—le saut de fréquence synthétisé : Le nombre de fréquences sur lesquelles on « saute » est supérieur au nombre de TRX installés sur la cellule. On peut « sauter » sur toute la bande GSM allouée s'il on veut. C'est le TRX qui change de fréquence toutes les trames TDMA. Le Time Slot ne « saute » plus. La FU1 supportant le BCCH ne « saute » pas.

10. **trame** : c'est un paquet d'information véhiculé au travers d'un support physique.

11. **FN** : sert de base à la création d'un code de temps

12. **TDMA** : c'est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence

13. **HSN** : Nombre entier (0 - 63) servant à la définition du saut de fréquence lent.

14. **MAIO** désigne un retard de temps séparant les canaux de trafic

15. **DCS 1800** : Système GSM dans la bande 1710 à 1785 MHz (voie montante) et 1805 à 1880 MHz (voie descendante).

16. **TRX** : c'est un émetteur récepteur qui gère une paire de fréquences porteuses (une en voie montante, une en voie descendante)

17. **Slot** : Intervalle de temps qui peut accueillir un burst

18. **BCCH** : permet de diffuser des données caractéristiques de la cellule

### 1.2.6 Les bandes de fréquences

Les systèmes de téléphonie mobile GSM 900 fonctionnent à des fréquences voisines de 900 MHz. Le réseau GSM 900, la bande de fréquences comprise entre 880 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 925 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais est appelée « voie montante » ou « up-link » ; la transmission de l'antenne-relais vers le téléphone mobile est, quant à elle, appelée « voie descendante » ou « down-link ».

Normes	Voies	Bandes de fréquences (Mhz)
GSM	Montante	890-915
	Descendante	935-960
GSM "Extended Band"	Montante	880-890
	Descendante	925-935

TABLE 1.1 – Bande de fréquences des réseaux GSM900

## 1.3 Architecture cellulaire

La couverture de la zone pour laquelle un opérateur a obtenu une licence est réalisée à partir d'un maillage constitué de cellules de forme hexagonale au centre desquelles est installée une seule antenne si celle-ci est du type omnidirectionnelle. L'élément hexagonal peut être subdivisé en trois cellules si l'antenne omnidirectionnelle est remplacée par trois antennes directives. On obtient ainsi des cellules dont la forme théorique est celle d'un losange ; cette solution permet de tripler la capacité du réseau tout en conservant le même nombre de sites d'antennes.

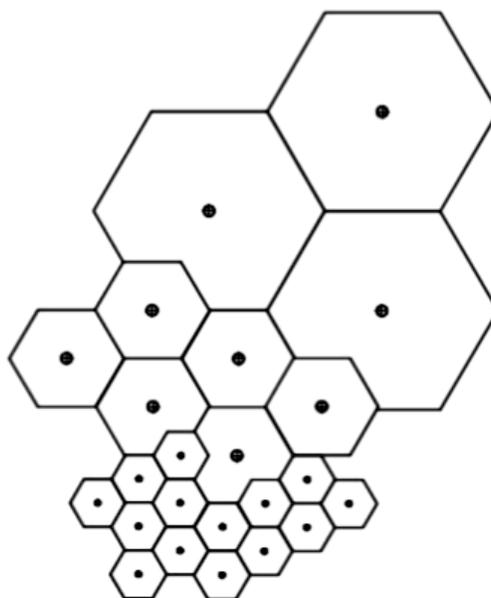


FIGURE 1.6 – Architecture cellulaire

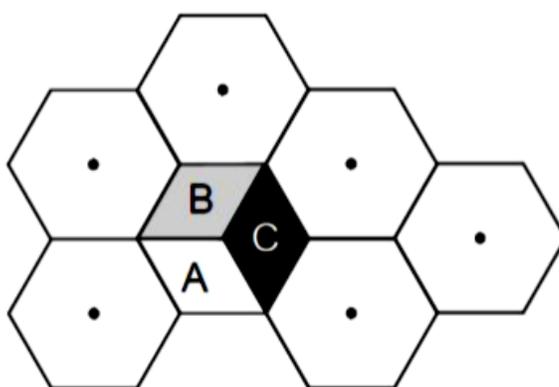


FIGURE 1.7 – Site équipé de trois antennes

Comme le montre la figure 1.6, la taille des cellules varie considérablement ; elle dépend du relief, et surtout de la densité de trafic. En zone urbaine, le rayon des cellules peut être de quelques centaines de mètres (et même moins pour les microcellules) ; en zone peu peuplée, il est de quelques kilomètres.

### 1.3.1 Principes du réseau de téléphonie cellulaire

Pour marquer une différence entre la téléphonie cellulaire et fixe, les inventeurs ont placé une cellule entre le central téléphonique et l'abonné.

Ici l'abonné n'est pas en contact direct avec le central mais il est relié au central par la cellule la plus proche qui est plutôt celle qui entre en contact direct avec le central. Le principe actuel de fonctionnement de la radio téléphone qui s'articule essentiellement autour d'un centre émetteur placé si possible sur un point haut relié RTC<sup>19</sup>.

### 1.3.2 Le concept cellulaire

Un système de radiotéléphonie utilise une liaison radioélectrique entre le terminal portatif et le réseau téléphonique. La liaison radio entre le téléphone mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de BTS<sup>20</sup> sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles.

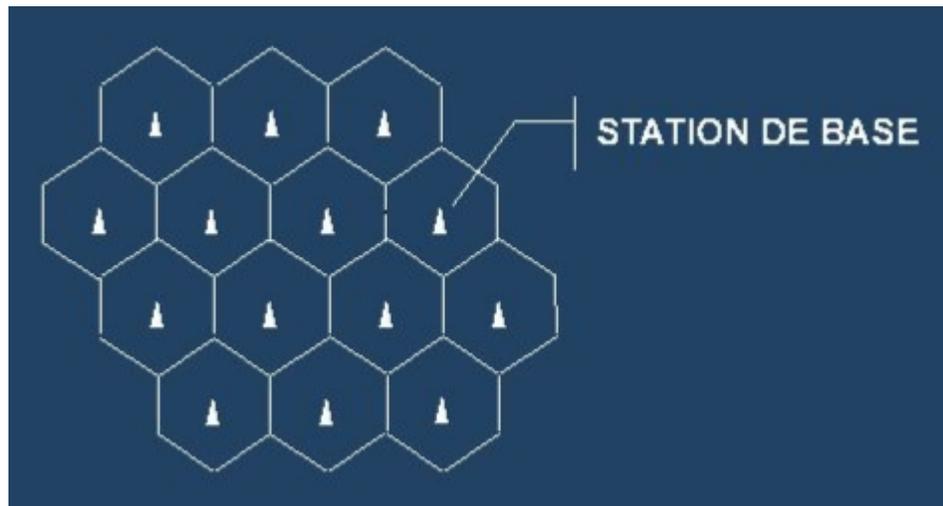


FIGURE 1.8 – Concept de cellule

### 1.3.3 Définition d'une cellule

La cellule est une surface sur laquelle est implantée une station de base qui peut établir une liaison avec le terminal.

En d'autres termes, c'est une partie du territoire découpée en petites zones constituant une étendue géographique limitée pour établir une station de base détermi-

19. **RTC** : Réseau téléphonique dans lequel le poste de l'abonné est relié à un central téléphonique par une paire de fils de cuivre.

20. **BTS** : station de base d'émission et de réception

née. La zone de couverture d'une cellule est très variable de moins de 100 m à 35 Km suivant les obstacles et interférences. Elle assure :

1. l'interface entre mobile et le central (Switch) ;
2. l'émission permanente de la signalisation ;
3. l'affectation des canaux de communication ;
4. la supervision de la communication.

Ces cellules se trouvent disposées aux autres jusqu'à vêtir l'ensemble d'une zone.

Du point de vue concept, la forme d'une cellule dépend toujours des facteurs géographiques et du nombre d'abonnés sa taille est variable de 200 m à 28 Km pour les plus grandes, selon la fréquence d'émission (900-1800 Mhz). Elle est normalisée par une forme hexagonale. Le territoire desservi pour le système cellulaire est subdivisé en cellules. En général dans la pratique, une cellule contient quatre émetteurs récepteurs dont porte huit canaux chacun.

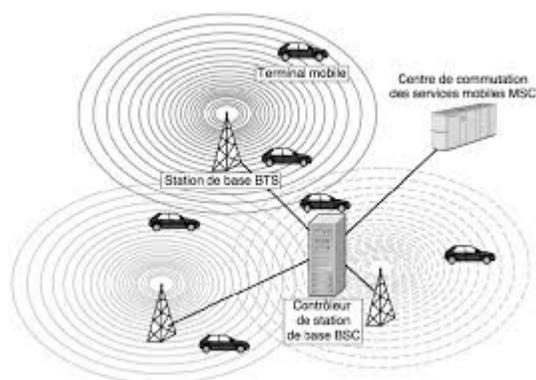


FIGURE 1.9 – Fonctionnement d'un système de cellule

### 1.3.4 Types des cellules

Il existe trois types de cellules à savoir :

1. Cellule de trafic : C'est la surface sur laquelle la communication peut être assurée sans changement de fréquence aux conditions de S/B (signal à bruit), nécessaires dans la technologie.
2. Cellule d'appel : Ici il s'agit d'un groupement de trafic pour diffusion d'appel. Elle peut contenir plusieurs cellules de trafic.

3. Cellule de veille : Il s'agit de l'étendue de la zone couverte par la fréquence de veille. La fréquence de la voie de veille est toujours localement identique à celle de la voie d'appel. Le mobile est souvent programmé pour se verrouiller, sauf commande particulière, sur un message balisé émis régulièrement par une voie radio.

### 1.3.5 Concept de mobilité

La mobilité des abonnés dans un réseau cellulaire a deux conséquences :

- Pour établir une communication, il faut savoir dans quelle cellule l'abonné se trouve. C'est la fonction de gestion de localisation.
- Il doit y avoir continuité de la communication lorsque l'abonné passe d'une cellule à une autre (transfert inter-cellulaire, communément appelé handover<sup>21</sup>). Si la mobilité d'un abonné s'étend à plusieurs pays, des accords de roaming<sup>22</sup> doivent alors être passés entre les différents opérateurs pour que les communications d'un abonné étranger soient traitées et aboutissent.

### 1.3.6 Forme d'une cellule

Nous l'avons souligné précédemment, elle a une forme hexagonale. La taille des cellules dépend aussi de l'opérateur s'il désire densifier son maillage pour augmenter les capacités de son réseau. Elle peut même atteindre 50 Km et est donnée par la formule ci-après :

$$R = \sqrt[4x]{H} \quad (1.2)$$

R : Rayon de couverture

H : Hauteur d'une antenne

x : La distance entre deux extrémités d'une cellule

---

21. **handover** : Mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une station de base vers une autre (hand-over inter station de base) ou d'un canal radio vers un autre (hand-over intra station de base)

22. **roaming** : Ce terme a tendance à désigner maintenant la capacité d'un abonné d'un réseau à utiliser un autre réseau pour lequel il n'a pas d'abonnement particulier

## 1.4 Origine du terme téléphonie Mobile

### 1.4.1 les motivations

C'est avec cette idée simple que Martin Cooper, ingénieur chez Motorola, a mis au point le premier téléphone portable. Nous sommes alors en 1973. L'idée de rendre le téléphone mobile est dans l'air du temps. Mais ce que les opérateurs téléphoniques imaginaient alors n'avait rien à voir avec ce que nous entendons aujourd'hui par mobilité.

L'idée dominante était d'installer des téléphones dans des véhicules en déplacement, voitures ou autres, eux-mêmes pourvus d'un socle, d'une batterie et d'une antenne. On pouvait téléphoner en se déplaçant, mais il devait toujours y avoir quelque chose au bout du fil auquel se raccrocher. Personne n'imaginait pouvoir détacher le téléphone de tout ancrage dans l'espace, de toute attache à autre chose qu'à son utilisateur, sauf Cooper. «Pendant cent ans, se disait-il, les gens désireux de se parler au téléphone ont été contraints d'être attachés par un câble à leur bureau ou à leur maison, et maintenant on va les enfermer dans leur voiture. Ce n'est pas bien.» C'est pour avoir fait voler en éclats ce présupposé fondamental que Cooper peut être considéré comme le véritable promoteur du téléphone portable.

### 1.4.2 La réalisation

Le 3 avril 1973 Cooper s'est élancé sur la Sixième Avenue de Manhattan, muni d'un portable qui avait la taille d'une brique, pesait 1 kilogramme et avait nécessité quinze ans de recherche et plus de 100 millions de dollars d'investissement. À qui s'adressa-t-il pour son premier appel ? À son rival Joel Engel, qui était à la tête du programme de portables pour voitures chez le concurrent AT&T<sup>23</sup>. «Joel, lui dit-il, je suis en train de t'appeler depuis un téléphone cellulaire, un vrai téléphone cellulaire, un téléphone cellulaire vraiment maniable et vraiment portable.» Après un long moment de silence

– «il devait grincer des dents»

– Joel conclut poliment l'échange ; il venait de perdre une bataille économique et de participer à un moment historique. Dix ans plus tard, en 1983 précisément, le portable était commercialisé, trente ans plus tard, il se démocratisait, et quarante

---

23. **AT&T** : une compagnie de téléphonie américaine

ans plus tard, il se transformait en un smartphone multi-usages à écran digital. Mais l'idée de Cooper n'avait cessé d'orienter ces métamorphoses successives : un portable est un téléphone qui se détache de tout ancrage dans l'espace pour se fixer à la singularité exclusive de son utilisateur. «Je suis où est mon portable, toujours joignable, mais on ne sait pas où je suis!» Après avoir découvert avec Galilée que la Terre n'est pas un sol inamovible, mais une planète en mouvement qui tourne autour du Soleil, après avoir découvert avec Einstein que le temps est relatif, voici que l'espace lui-même se met en mouvement. Il n'y a plus de point d'ancrage objectif grâce auquel l'individu peut être localisé par les autres[13].

### 1.4.3 Un outil social

C'est sans doute en vertu de cette charge métaphysique que ce petit objet a pu bouleverser la vie psychique, sociale et politique de notre temps. Opérateur d'une nouvelle forme de communication, il a modifié en profondeur le rapport à autrui, capté l'attention des esprits et fait de la communication privée entre individus éloignés l'un de l'autre un étrange spectacle public. En assurant la possibilité d'une connexion généralisée et permanente, il a ouvert la voie à une disponibilité permanente de chacun. En agrégeant sous la forme apparente d'un simple téléphone l'accès à Internet, à l'image et à tous les logiciels informatiques, il s'est proposé comme un nouveau bureau portatif, doublé d'un objet de communication affective et de divertissement. En incorporant notre ordinateur, nos appareils photo et nos outils de correspondance, il se présente comme une nouvelle mémoire personnelle capable d'absorber toutes les traces de notre existence. En livrant ses services de géolocalisation et d'orientation, il a fait surgir un nouvel espace géométrique qui concurrence l'espace concret et subjectif. En intégrant une variété toujours plus grande d'applications commerciales, il s'est offert au marché comme une voie d'accès royale à l'individu, dans la singularité de son mode de vie, de ses intérêts et de ses besoins. Enfin, en donnant la possibilité d'une traçabilité et d'une mémorisation de tous ces usages réunis, il se présente comme un formidable outil de surveillance des faits et gestes les plus intimes de ses utilisateurs. Bref, loin du simple téléphone portatif, le mobile est un outil total, absolu, intégral qui modifie en profondeur notre rapport au monde et à autour de nous. À l'avenir, il pourrait même s'accoler directement à notre corps via les lunettes de Google, la montre d'Apple ou, qui sait, demain, une puce directement implémentée dans notre organisme.

## 1.5 Infrastructure du réseau de base : GSM

### 1.5.1 Description

Le réseau GSM a pour premier rôle de permettre des communications entre abonnés mobiles et abonnés du RTC .

Le réseau GSM s'interface avec le réseau RTC<sup>24</sup> et comprend des commutateurs<sup>25</sup> . Le réseau GSM se distingue par un accès spécifique : la liaison radio.

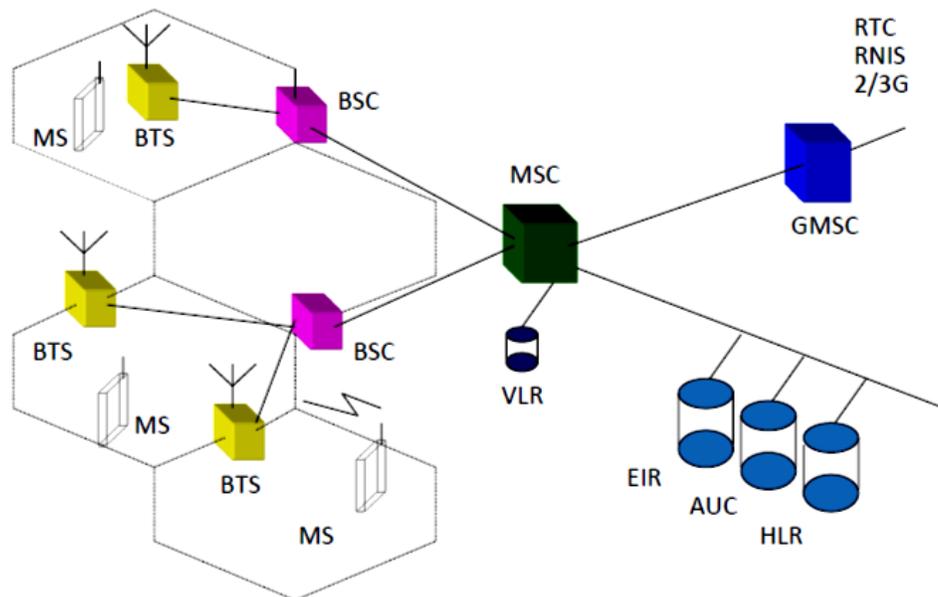


FIGURE 1.10 – Architecture d'un réseau cellulaire GSM

Le réseau GSM est composé de trois sous-systèmes :

1. **Le sous système radio : BSS**<sup>26</sup> assure et gère les transmissions radios
2. **Le sous système d'acheminement : NSS**<sup>27</sup> comprend l'ensemble des fonctions nécessaires pour appels et gestion de la mobilité.
3. **Le sous-système d'exploitation et de maintenance : OSS**<sup>28</sup> qui permet à l'opérateur d'exploiter son réseau.

24. **RTC** : Réseau Téléphonique Commuté

25. **Commutateur téléphonique** met en relation deux correspondants suivant des règles fondées sur le numéro composé par l'appelant.

26. **BSS** : Base Station Sub-system

27. **NSS** : Network Station Sub-system

28. **OSS** : Operating Sub-system

Le BSS comprend :

- **Les BTS**, émetteurs-récepteurs ayant un minimum "d'intelligence",
- **Le BSC** qui contrôle un ensemble de BTS,

Le NSS comprend des bases de données et des commutateurs :

- **Les MSC** , commutateurs mobiles associés en général aux bases de données
  - **Le VLR** , fichier des abonnés visiteurs,
  - **Le HLR**, base de données de localisation et de caractérisation des abonnés,
  - **L'AuC** , base de données qui génère des paramètres sur demande du HLR pour protéger le réseau des utilisateurs frauduleux.
  - **L'EIR** qui vérifie l'identification de l'équipement mobile.
- éléments du BSS,

L'OMC peut être scindé en deux parties :

- **L'OMC-R (Radio)** , qui a pour fonction de gérer les
- **l'OMC-S (Switching)**, qui a pour fonction de gérer les éléments du NSS.

La mise en place d'un réseau GSM en mode circuit va permettre à un opérateur de proposer des services de type « Voix » à ses clients en donnant accès à la mobilité tout en conservant un interfaçage avec le RTC existant.

### 1.5.2 Les équipements d'un réseau GSM

Le réseau GSM est constitué des équipements suivants :

- **MS** : constitue un ME<sup>29</sup> et de la carte SIM
- **BTS** : assure la réception les appels entrant et sortant des équipements mobiles.
- **BSC** : assure le contrôle des stations de bases.
- **MSC** : assure la commutation dans le réseau.
- **HLR** : base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des abonnés.
- **AuC** : assure l'authentification des terminaux du réseau
- **VLR** : base de données assurant le stockage des informations sur l'identité et la localisation des visiteurs du réseau.

---

29. **ME** : Mobil Equipment

### 1.5.3 Architecture physique du sous système radio BSS

Le BSS comprend les Mobile Station, BTS qui sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence et les BSC qui contrôlent un ensemble de BTS et permettent une première concentration des circuits.

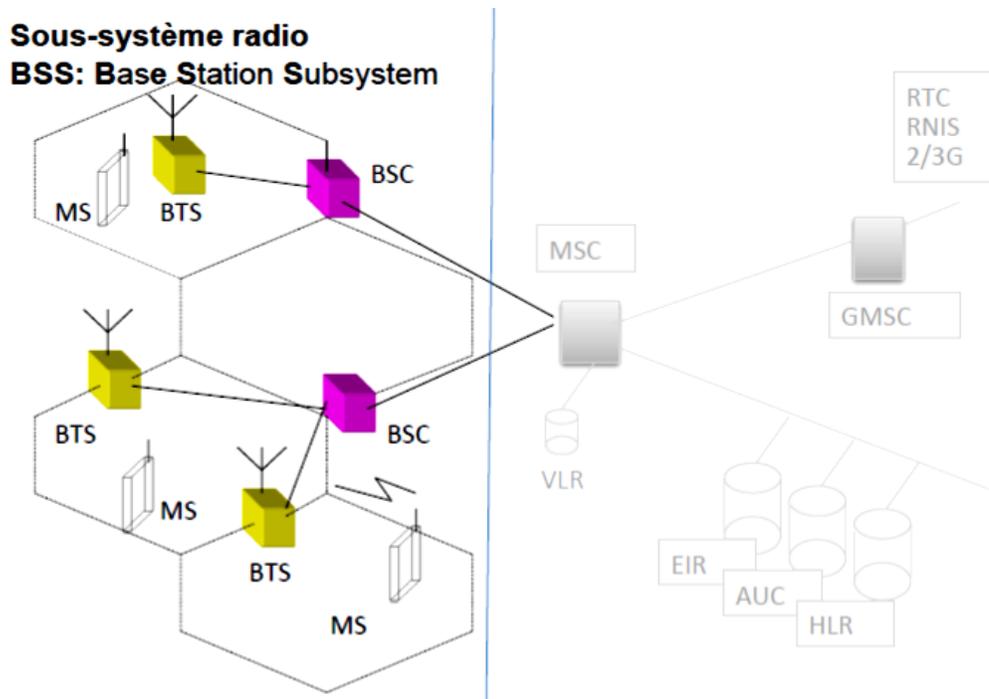


FIGURE 1.11 – BSS : Base Station Subsystem

#### 1.5.3.1 Mobile Equipment (ME)

Un équipement mobile qui fournit les capacités radio et logicielles nécessaires au dialogue avec le réseau et demeure indépendant de l'abonné utilisateur.

#### 1.5.3.2 La carte SIM

La carte SIM telle que définit dans la norme GSM permet aux abonnées une mobilité personnelle indépendante du terminal utilisé. Il existe initialement deux types de cartes SIM :

- La carte SIM ID-1 : carte à la taille d'une carte de crédit.
- La carte SIM plug in : de petite taille. L'objet de cette carte est d'être utilisée de façon quasi permanente dans un terminal portatif donné.

La carte SIM contient de nombreux paramètres de sécurité. Comme toute carte à

puce elle possède un ensemble de clés permettant de sécuriser les étapes de personnalisation par les différents intervenants (fabricants, opérateurs, distributeurs, utilisateurs). A chaque intervenant est associé un code, nous connaissons le code PIN composé de 4 à 6 chiffres, également appelé CHIV1. L'architecture d'une carte SIM est simple, il y a trois parties :

- La mémoire ROM d'une taille de 16 Ko contient l'OS<sup>30</sup>, des algorithmes et éventuellement des applications spécifiques. Voir NB 1
- La mémoire EEPROM (E2 PROM) contient tous les champs de la norme GSM et des applications. Sa taille varie entre 8 Ko et 64 Ko aujourd'hui.
- La mémoire RAM contient des données liées aux applications spécifiques, la taille est réduite, généralement quelques centaines d'octets.

**NB 1 :** L'OS de la carte est intégré au sein de la mémoire ROM. Initialement propriété des SIM manufacturers, ces OS étaient développés en natif pour le compte des opérateurs. Aujourd'hui les OS tendent à être développés en Java, ce qui ouvre des ouvertures pour des sociétés souhaitant développer des OS pour le compte de clients. Le SIM manufacturer devient alors un fabricant industriel de cartes qui intègre des données (OS) développées pour une tierce partie.

**NB 2 :** Les SIM manufacturers parlent essentiellement de la taille de la E2PROM pour présenter leurs produits, on parlera ainsi de Cartes 32 Ko, 64 ko ... L'architecture d'une carte SIM respecte une organisation interne définie dans la norme GSM.

La racine est constituée par le dossier MF

Le fichier MF peut contenir des fichiers EF

Le fichier MF contient des répertoires DF

Chaque répertoire DF peut contenir des fichiers EF.

### 1.5.3.3 Fonctions de la BTS

La BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX. Elle a pour fonction la gestion :

- des transmissions radios (modulation, démodulation, égalisation, codage et correcteur d'erreurs).
- de la couche physique des réseaux.
- de la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure réseau de l'opérateur.

---

30. OS : Système d'exploitation

– de la liaison de données avec le BSC

L'exploitation des données recueillies par la BTS est réalisée par le BSC. La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses (limite technique rarement atteinte pour des raisons de fiabilité). Ainsi une BTS peut gérer au maximum une centaine de communications simultanées.

On distingue deux types de BTS :

- Les BTS dites « normales »
- Les micro-BTS'

#### 1.5.3.3.1 BTS normales

Les BTS normales sont les stations de base classiques utilisées dans les systèmes cellulaires avec des équipements complémentaires installés dans des locaux techniques et des antennes sur les toits.

#### 1.5.3.3.2 Micro-BTS

Les micro-BTS sont utilisées pour couvrir les zones urbaines denses avec des microcellules. Il s'agit d'équipements de faible taille, de faible coût qui permettent de mieux couvrir un réseau dense comme le quartier d'une ville à forte densité de population.

Le rayon d'une cellule varie entre 200 m en milieu urbain et 30 km en milieu rural. Une cellule est au minimum couverte par la triangulation de trois BTS. L'exploitation de la BTS se fait soit en local soit par télécommande au travers de son BSC.

#### 1.5.3.4 Fonctions du BSC

Le BSC est l'organe intelligent du sous système radio. Il gère une ou plusieurs stations et remplit différentes fonctions de communication et d'exploitation. Pour le trafic abonné venant des BTS, le BSC joue un rôle de concentrateur. Il a un rôle de relais pour les alarmes et les statistiques émanant des BTS vers le centre d'exploitation et de maintenance. Pour le trafic issu du concentrateur, le BSC joue le rôle d'aiguilleur vers la station de base destinataire. Le BSC est une banque de données pour les versions logicielles et les données de configuration téléchargées par l'opérateur sur les BTS.

Le BSC pilote enfin les transferts entre deux cellules; il avise d'une part la nouvelle BTS qui va prendre en charge l'abonné « mobile » tout en informant le back end system – ici le HLR – de la nouvelle localisation de l'abonné. Les BTS sont « contactées » par le centre de maintenance et d'exploitation par le biais des BSC qui jouent ce rôle de relais.

#### 1.5.4 Architecture physique du sous système fixe NSS

Le NSS comprend des bases de données et des commutateurs.

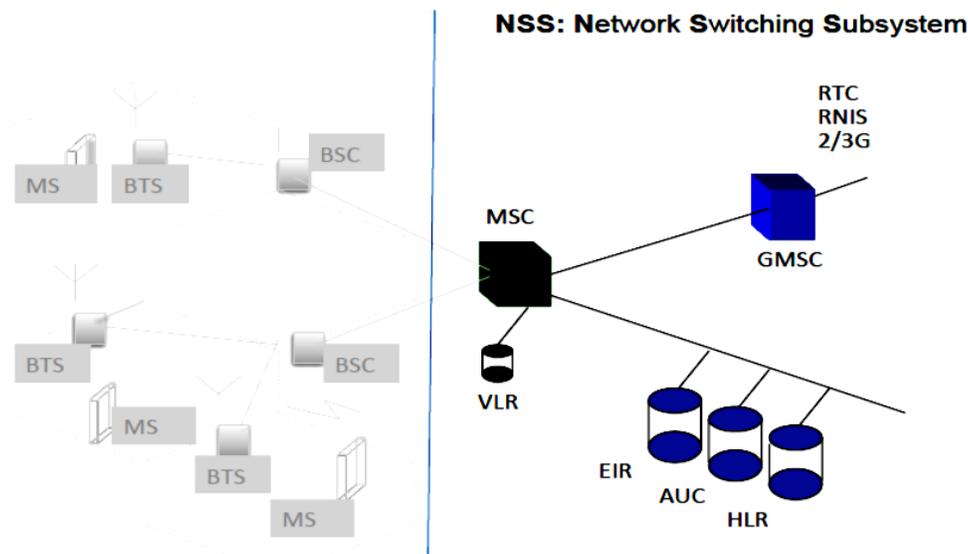


FIGURE 1.12 – NSS : Network Switching Subsystem

– Les commutateurs sont définis par : le GMSC, le MSC – Les bases de données sont définis par AuC, HLR, VLR et EIR

##### 1.5.4.1 Fonctions du HLR

Le HLR est une base de données de localisation et de caractéristiques des abonnés. Un réseau peut posséder plusieurs HLR selon des critères de capacité de machines, de fiabilité et d'exploitation. Le HLR est l'enregistreur de localisation nominale par opposition au VLR qui est l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Le schéma 1.13 décrit les informations gérées par le HLR. Une base de données qui conserve des données statiques sur l'abonné et qui administre des données dynamiques sur le comportement de l'abonné. Les informations sont ensuite exploitées par l'OMC. L'AuC est une base de données associée au HLR.

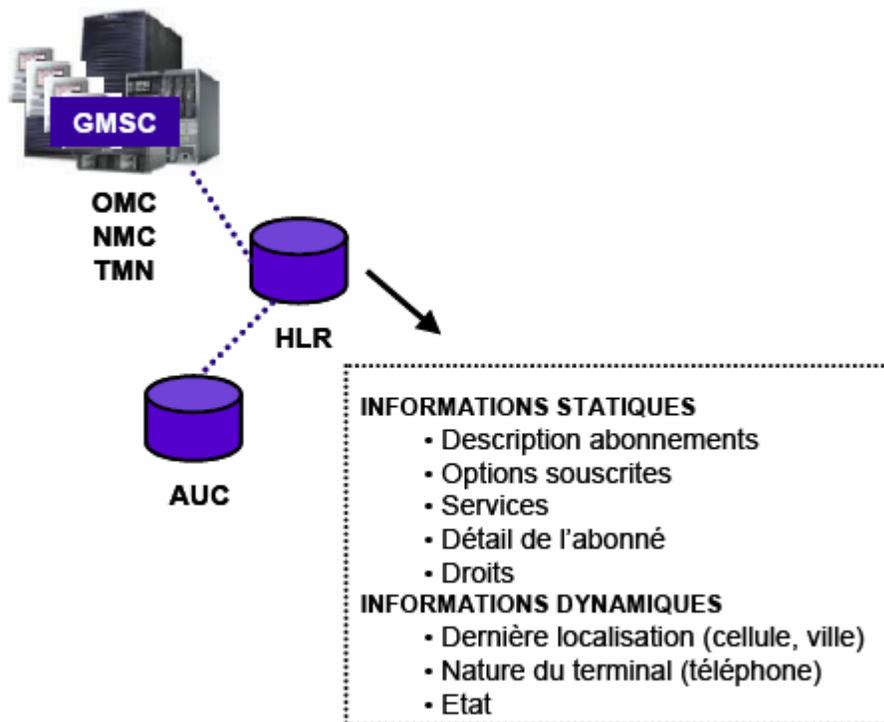


FIGURE 1.13 – Gestionnaire des informations

La carte SIM qui transmet deux informations importantes. L'IMSI<sup>31</sup> qui est gère par le HLR et le KI<sup>32</sup> qui est géré par la base de données AuC

Nous avons les données suivantes :

IMSI + KI constitue l'identification de l'abonné x

MSISDN<sup>33</sup> : Numéro de téléphone de x

Le HLR vérifie que le couple IMSI + KI = MSISDN

L'AuC vérifie que le couple IMSI + KI est valide

Les informations dynamiques relatives à l'état et à la localisation d'un abonné sont actualisées en permanence. Ces informations sont particulièrement utiles lorsque le réseau achemine un appel vers l'abonné.

#### 1.5.4.2 Fonction du MSC

Les MSC sont des commutateurs de mobiles généralement associés aux bases de données VLR. Le MSC assure une interconnexion entre le réseau mobile et

31. **IMSI** : donne des informations sur le réseau d'origine et le pays entre autre

32. **KI** : clé de cryptage

33. **MSISDN** : Numéro international d'un abonné mobile conforme au plan E164 de l'UIT et connu de l'utilisateur

le réseau fixe public. Le MSC gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover<sup>34</sup> si le MSC concerné est impliqué.

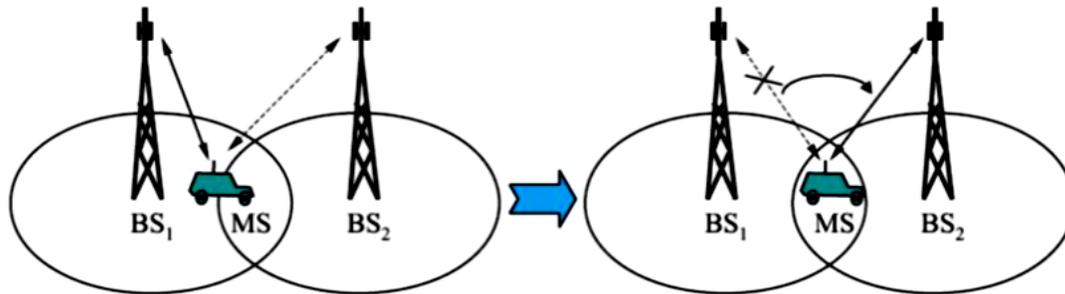


FIGURE 1.14 – Handover

On parle de transfert automatique inter/intra cellule.

Le commutateur est un noeud important du réseau, il donne un accès vers les bases de données du réseau et vers le centre d'authentification qui vérifie les droits des abonnés. En connexion avec le VLR le MSC contribue à la gestion de la mobilité des abonnés (à la localisation des abonnés sur le réseau) mais aussi à la fourniture de tous les télé services offerts par le réseau : voix, données, messageries... Le MSC peut également posséder une fonction de passerelle. Un couple MSC / VLR gère généralement une centaine de milliers d'abonnés. Les commutateurs MSC sont souvent des commutateurs de transit des réseaux téléphoniques fixes sur lesquels ont été implantés des fonctionnalités spécifiques au réseau GSM

#### 1.5.4.3 Gateway MSC (GMSC)

Si le RTC doit router un appel vers un abonné mobile, l'appel est routé vers un MSC. Ce MSC interroge le HLR concerné, puis route l'appel vers le MSC sous lequel le mobile est localisé (il peut s'agir du même MSC). Un MSC qui reçoit un appel d'un autre réseau et qui assure le routage de cet appel vers la position de localisation d'un mobile est appelé Gateway MSC .

34. **handover** est un mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une BTS vers une autre (handover inter BTS) ou, sur la même BTS d'un canal radio vers un autre (handover intra BTS)

#### 1.5.4.4 Fonctions du VLR

L'enregistreur de localisation des visiteurs est une base de données associée à un commutateur MSC. Le VLR a pour mission d'enregistrer des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau, ainsi l'opérateur peut savoir à tout instant dans quelle cellule se trouve chacun de ses abonnés. Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR mais concernent les abonnés présents dans la zone concernée.

A chaque déplacement d'un abonné le réseau doit mettre à jour le VLR du réseau visite et le HLR de l'abonné afin d'être en mesure d'acheminer un appel vers l'abonné concerné ou d'établir une communication demandée par un abonné visiteur. Pour ce faire un dialogue permanent est établi entre les bases de données du réseau. La mise à jour du HLR est très importante puisque lorsque le réseau cherche à joindre un abonné, il interroge toujours le HLR de l'abonné pour connaître la dernière localisation de ce dernier, le VLR concerné est ensuite consulté afin de tracer le chemin entre le demandeur et le demandé pour acheminer l'appel.

#### 1.5.4.5 La Fonction AuC

L'AuC est associé à un HLR et sauvegarde une clé d'identification pour chaque abonné mobile enregistré dans ce HLR. Cette clé est utilisée pour fabriquer :

- Les données nécessaires pour authentifier l'abonné dans le réseau GSM.
- $K_c$ <sup>35</sup> de la parole sur le canal radio entre le mobile et la partie fixe du réseau GSM.

L'AuC est une fonctionnalité généralement intégrée dans le HLR.

#### 1.5.4.6 La fonction EIR

Un EIR sauvegarde toutes les identités des équipements mobiles utilisés dans un réseau GSM. Cette fonctionnalité peut être intégrée dans le HLR. Chaque poste mobile est enregistré dans l'EIR dans une liste :

- Liste "blanche" : poste utilisable sans restriction.
- Liste "grise" : poste sous surveillance (traçage d'appels).
- Liste "noire" : poste volé ou dont les caractéristiques techniques sont incompatibles, avec la qualité requise dans un réseau GSM (localisation non autorisée).

---

35. **K<sub>c</sub>** : Clé de chiffrement calculée à partir de la clé **K<sub>i</sub>** et du nombre aléatoire **RAND** transmis par le réseau.

## 1.5.5 Architecture logique du Sous système d'exploitation et de maintenance OSS

### 1.5.5.1 L'administration de réseau

L'administration du réseau comprend toutes les activités qui permettent de mémoriser et de contrôler les performances d'utilisation et les ressources de manière à offrir un niveau correct de qualité aux usagers. On distingue 5 fonctions d'administration :

– L'administration commerciale :

La déclaration des abonnés et des terminaux, la facturation, les statistiques ...

– La gestion de la sécurité :

La détection des intrusions, le niveau d'habilitation ...

– L'exploitation et la gestion des performances :

L'observation du trafic et de la qualité (performance), les changements de configuration pour s'adapter à la charge du réseau, la surveillance des mobiles de maintenance ...

– Le contrôle de configuration du système :

Les mises à niveau de logiciels, les introductions de nouveaux équipements ou de nouvelles fonctionnalités ...

– La maintenance :

Les détections de défauts, les tests d'équipements ...

Le système d'administration du réseau GSM est proche du concept TMN qui a pour objet de rationaliser l'organisation des opérations de communication et de maintenance et de définir les conditions techniques d'une supervision économique et efficace de la qualité de service.

### 1.5.5.2 Architecture de TMN (Télécommunications Management Network)

L'administration des premiers réseaux se faisait de manière individuelle sur chaque équipement à partir d'un terminal simple directement connecté. Ainsi les fonctions disponibles étaient liées à la structure matérielle de l'équipement. Ce niveau d'administration est encore utilisable mais il est peu à peu remplacé par des terminaux déplacés et reliés aux équipements par l'intermédiaire d'un réseau de données.

### 1.5.5.3 Présentation de l'OMC et du NMC

Deux niveaux de hiérarchie sont définis dans la norme GSM. Les OMC et le NMC. Cette organisation a été définie afin de permettre aux opérateurs télécoms de gérer la multiplicité des équipements (émetteurs, récepteurs, bases de données, commutateurs ...) et des fournisseurs.

Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé.

Les OMC permettent une supervision locale des équipements (BSC /MSC / VLR) et transmettent au NMC les incidents majeurs survenus sur le réseau. Les différents OMC assurent une fonction de médiation.

## 1.6 Présentation des interfaces

Les interfaces désignées par des lettres de A à H dans le tableau ci après ont été définies par la norme GSM. Bien souvent, le découpage des fonctions entre les éléments du réseau (VLR et MSC) par exemple est effectué par les constructeurs (Ericsson, Nokia ...) qui ne respectent pas forcément celles définies dans le tableau. Deux normes sont néanmoins imposées :

- L'interface D qui permet au couple MSC/VLR de dialoguer avec le HLR afin d'assurer l'itinérance internationale que l'on dénomme « roaming ». (Un abonné d'un réseau camerounais quitte le Cameroun pour se rendre en Espagne et se connecte au réseau espagnol. Ce cas est un cas de roaming).
- L'interface A qui sépare NSS et BSS. Ainsi les opérateurs peuvent avoir un multisourcing de BSC et MSC (avoir plusieurs fournisseurs différents pour leurs infrastructures).
- L'interface Abis supporte les transmissions de communication entre BSC et BTS. En réalité, la plupart des messages de signalisation sont changés entre le BSC ou le MSC et le MS : la BTS n'a qu'une simple fonction de relais.

Nom de l'interface	Localisation	Utilisation
Um	MS –BTS	Interface radio
Abis	BTS – BSC	Divers
A	BSC – MSC	Divers
C	GMSC –HLR	Interrogation du HLR pour appel entrant
	SM – GMSC – HLR	nterrogation du HLR pour message court entrant
D	VLR - HLR	Gestion des informations d'abonnés et de localisation
	VLR - HLR	Services supplémentaires
E	MSC – SM - GMSC	Transport de messages courts
	MSC – MSC	Exécution des handover
G	VLR – VLR	Gestion des informations des abonnés
F	MSC - EIR	Vérification de l'identité du terminal
B	MSC - VLR	Divers
H	HLR – AUC	Echange des données d'authentification

TABLE 1.2 – Présentation des différentes interfaces

## 1.7 Les différentes générations

### 1.7.1 la génération zéro

Les premiers travaux sur la téléphonie sans-fil remontent à la Seconde Guerre mondiale. Ils aboutissent aux premiers réseaux mobiles, dits réseaux 0G, en fait des systèmes radio-téléphoniques. Ils utilisent des antennes VHF, comme la radio FM ou les communication militaires, ce qui leur offre une excellente couverture, mais les expose à une forte congestion et à des interférences.

1. Le MTS américain, comme les services similaires, nécessite l'intervention d'une opératrice : on prend la ligne, qui devient indisponible pour les autres utilisateurs, le temps de donner le numéro à contacter. Une fois la liaison établie, la ligne est libérée pour les autres utilisateurs. Ce système, opérationnel depuis 1946, est toujours utilisé dans les zones les plus reculées des États-Unis ou du Canada.
2. Le système IMTS , mis en place à partir de 1964, est le premier à permettre une liaison directe par numérotation. En IMTS, l'appel est purement analogique : la communication avec le réseau et la numérotation sont effectuées par impulsions sonores.



FIGURE 1.15 – Téléphone 0G

À l'époque, ces réseaux sont d'abord et avant tout utilisés pour les téléphones embarqués dans les voitures. Impossible en effet de concevoir un appareil portatif pouvant se connecter dans les conditions de l'époque : il fallait bien la batterie d'une berline et une antenne de toit pour obtenir des conditions de connexion passables.

### 1.7.2 La Première génération

La première génération de téléphones mobiles ou encore la génération 1G a vu naissance dans le début des années 80. Elle possédait un fonctionnement analogique et était constituée d'appareils relativement volumineux.



FIGURE 1.16 – Le Motorola Dynatac 8000x. Commercialisé pour 3 995 dollars, il dispose d'une autonomie d'une heure, la recharge en prenant pas moins de dix.

Il s'agissait principalement des standards suivants :

1. AMPS , apparu en 1976 aux Etats-Unis, constitue le premier standard de réseau cellulaire. Utilisé principalement Outre-Atlantique, en Russie et en Asie, ce réseau analogique de première génération possédait de faibles mécanismes de sécurité rendant possible le piratage des lignes téléphoniques.
2. TACS est la version européenne du modèle AMPS. Utilisant la bande de fréquence de 900 MHz, ce système fut notamment largement utilisé en Angleterre, puis en Asie (Hong-Kong et Japon).
3. ETACS est une version améliorée du standard TACS développé au Royaume-Uni utilisant un nombre plus important de canaux de communication.

Il offrait un service médiocre de communication mobile et très coûteux. La 1G avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (on pouvait écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau autre que celui de son opérateur).

### 1.7.3 La deuxième génération

La seconde génération de réseaux mobiles (notée 2G) est marquée par une rupture avec la première génération de téléphones cellulaires grâce au passage de l'analogique vers le numérique. IL permet une sécurisation des données (avec cryptage).

Les principaux standards de téléphonie mobile 2G et 2G+ sont les suivants : le GSM, le CDMA one, le TDMA, le GPRS, le EDGE

#### 1.7.3.1 GSM

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) constitue au début du 21ème siècle le standard de téléphonie mobile le plus utilisé en Europe. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit « de seconde génération » (2G) car, contrairement à la première génération de téléphones portables,



FIGURE 1.17 – Le Nokia 1011, le premier téléphone GSM produit en masse. Haut de 19,5 cm, il pèse 476 grammes.

les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique et il est plus léger. Baptisé « Groupe Spécial Mobile » à l'origine de sa normalisation en 1982, il est devenu une norme internationale nommée « Global System for Mobile communications » en 1991.

En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Aux Etats-Unis par contre, la bande de fréquence utilisée est la bande 1900 MHz. Ainsi, on qualifie de tri-bande parfois aussi noté tri-bande, les téléphones portables pouvant fonctionner en Europe et aux Etats-Unis et de bi-bande ceux fonctionnant uniquement en Europe.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, ce qui permet de transmettre la voix ainsi que des données numériques de faible volume, par exemple de SMS limités à 80 caractères ou des MMS,

### 1.7.3.2 GPRS

Le standard GPRS est une évolution de la norme GSM, ce qui lui a valu parfois l'appellation GSM++ (ou GSM 2+). Etant donné qu'il s'agit d'une norme de téléphonie de seconde génération permettant de faire la transition vers la troisième génération (3G), on parle généralement de 2.5G pour classer le standard GPRS.



FIGURE 1.18 – Le Nokia 7110, premier téléphone avec un navigateur WAP.

Le GPRS permet d'étendre l'architecture du standard GSM, afin d'autoriser le transfert de données par paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s). Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire. Le standard GPRS permet donc de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion, ce qui signifie notamment qu'il peut rester connecté sans surcoût.

Ainsi, le standard GPRS utilise l'architecture du réseau GSM pour le transport de la voix, et propose d'accéder à des réseaux de données notamment internet, utilisant le protocole IP ou le protocole X.25. Le GPRS permet de nouveaux usages que ne permettaient pas la norme GSM, généralement catégorisés par les classes de services suivantes :

1. Services point à point (PTP), c'est-à-dire la capacité à se connecter en mode client serveur à une machine d'un réseau IP,
2. Services point à multipoint (PTMP), c'est-à-dire l'aptitude à envoyer un paquet à un groupe de destinataires (Multicast).
3. Services de messages courts
4. La notion de Qualité de Service c'est-à-dire la capacité à adapter le service aux besoins d'une application

### 1.7.3.3 EDGE

Le standard EDGE est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation. Tout comme la norme GPRS, le standard EDGE est utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G pour désigner le standard EDGE.



FIGURE 1.19 – L’iPhone original exploitait à fond les capacités des réseaux EDGE.

EDGE utilise une modulation différente de la modulation utilisée par GSM . Cette modulation est 8-PSK<sup>36</sup>, ce qui implique une modification des stations de base et des terminaux mobiles.

L’EDGE permet ainsi de multiplier par un facteur 3 le débit des données avec une couverture plus réduite. Dans la théorie EDGE permet d’atteindre des débits allant jusqu’à 384 kbit/s pour les stations fixes constituées des piétons et véhicules lents, et jusqu’à 144 kbit/s pour les stations mobiles formées des véhicules rapides)

### 1.7.3.4 CDMA one

La Norme 95 (IS-95) d’intérim, est le premier CDMA- norme cellulaire numérique créé et déployé par Qualcomm. Le nom de marque pour IS-95 est CDMAOne. IS-95 est également connu comme TIA-EIA-95. C’est la deuxième Génération des Télécommunications mobiles. Le CDMA, créé pour la radio numérique, pour envoyer la voix, et les données de signalisation, telles qu’un numéro de téléphone composé entre le téléphone mobile et les stations de base. Le CDMA permet à plusieurs MS (Mobile Station) de partager les mêmes fréquences tout en étant en activité tout le temps, parce que la capacité de réseau ne limite pas directement le nombre de MS actifs.

36. **PSK** : permet de transmettre 3 bits pendant une durée symbole

### 1.7.3.5 TDMA

Le (TDMA) ou Accès multiple à répartition dans le temps en français, est une technique de contrôle d'accès au support permettant de transmettre plusieurs signaux sur un seul canal ou une seule bande de fréquence. Il s'agit de division temporelle de la bande passante, dont le principe est de répartir le temps disponible entre les différents utilisateurs. Par ce moyen, une fréquence porteuse ou une longueur d'onde peut être allouée à plusieurs abonnés simultanément.

Dans le domaine militaire, la Liaison 16 est le principal moyen de communication utilisant cette technologie pour l'échange sécurisé de données. TDMA désigne également une norme de téléphonie mobile basée sur cette technologie, également appelée IS-136 ou D-AMPS. Cette norme était utilisée par AT&T aux États-Unis.

L'avantage de cette connexion est d'ouvrir un faisceau entre l'appelant et l'appelé qui ne sera fermé qu'en fin de communication. Un faisceau, c'est comme une voie ferroviaire, supposons deux gares reliées entre elles par plusieurs voies. Si le système de commutation des voies ne change pas, tous les trains emprunteront le même chemin. Dans le cas de la téléphonie, le système de commutation s'établit pendant la tonalité de mise en relation, puis est maintenu pendant toute la communication. L'inconvénient est l'utilisation d'un faisceau même si vous ne parlez pas et quand bien même vous parlez, lorsqu'on communique, il y a plus de 60% de blancs lors de notre conversation, c'est à dire que le faisceau vous est réservé alors que vous ne transmettez rien. L'avantage et la raison de ce choix sont que la conversation arrive dans le bon ordre ; si vous comptez de 1 à 10, le 1 arrivera en premier à votre correspondant et le 10 en dernier car tous ces nombres auront suivi le même faisceau.

Cette 2e génération a connu un énorme succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des mini-messages. Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, de nouvelles techniques de modulations et de codages ont permis d'accroître le débit et les premières connexions IP sont apparues (GPRS, EDGE).

### 1.7.4 La troisième génération

Elle est encore appelée 3G. Il existe plusieurs formes de 3G dans le monde, le CDMA2000 et l'UMTS

#### 1.7.4.1 CDMA2000

Le standard CDMA2000, aussi connu sous le nom de IS-2000 constitue une évolution du CDMAOne (IS-95) vers la troisième génération de services. Le CDMA 2000 divise le spectre en lignes multi porteuses (Mode TDD). Elle est adaptée aux micros et pico cellules ainsi qu'aux trafics asymétriques qui sont données en mode paquets à haut débit et asymétrique.

#### 1.7.4.2 UMTS

L'UMTS est la norme de télécommunications de troisième génération utilisée en Europe et est basée sur la technologie W-CDMA (utilisée au Japon et Corée). Elle a été développée à partir de 2004 avec la Release 99 (R99). 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. Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project), qui gère cette norme, l'a constamment amélioré, notamment pour augmenter les débits :

1. UMTS (Release 99, 2000) à 1,92 Mbit/s ;
2. HSPA (Release 5 et 6, 2002 et 2004) jusqu'à 14,4 Mbit/s en download (HSDPA) et 5,8 Mbit/s en upload (HSUPA) ;
3. HSPA+ (Release 7, 2007) qui monte à 21,6 Mbit/s en download ;
4. DC-HSPA+ (Release 8 et 9, 2008 et 2009), qui atteint 42 Mbit/s en download et 11 Mbit/s en upload.

### 1.7.5 La quatrième génération

La technologie LTE communément appelée la 4G s'appuie sur un réseau de transport à commutation de paquet IP. Elle n'a pas prévu de mode d'acheminement pour la voix, autre que la VoIP, contrairement à la 3G qui transporte la

voix en mode circuit. Le LTE utilise des bandes de fréquences hertziennes d'une largeur pouvant varier de 1,4 MHz à 20 MHz, permettant ainsi d'obtenir pour une bande 20 MHz un débit binaire théorique pouvant atteindre 300 Mbit/s en « downlink », alors que la "vraie 4G" ou LTE-advanced offre un débit descendant atteignant 1 Gbit/s.

Cette technologie repose sur une combinaison de technologies sophistiquées à même d'élever nettement le niveau de performances avec très haut débit et latence par rapport aux réseaux 3G existants. Le multiplexage OFDMA apporte une optimisation dans l'utilisation des fréquences en minimisant les interférences. Le recours à des techniques d'antennes multiples déjà utilisés pour le Wi-Fi ou le WiMax permet de multiplier les canaux de communication parallèles, ce qui augmente le débit total et la portée.

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	IMT-Advanced	LTE-Advanced
Débits crêtes maximums	DL	300 Mb/s		1 Gb/s
	UL	75 Mb/s		500 Mb/s
Bandes de fréquences		1,4 à 20 MHz	→40 MHz	→100 MHz
Latence	Données	10 ms	10 ms	10 ms (RTT)
	Sessions	100 ms	100 ms	50 ms
Efficacité spectrale DL/UL	Max	5,0 / 2,5 b/s/Hz	15 / 6,75 b/s/Hz	30 / 15 b/s/Hz
	Moyen	1,8 / 0,8 b/s/Hz	2,2 / 1,4 b/s/Hz	2,6 / 2,0 b/s/Hz
	En limite	0,04 / 0,02 b/s/Hz	0,06 / 0,03 b/s/Hz	0,009 / 0,07 b/s/Hz

TABLE 1.3 – Critères de base sur le débit et sur la latence

## TECHNIQUE DE TRANSMISSION DANS LE RÉSEAU GSM

---

### 2.1 Architecture logique du réseau mobile

Dans un réseau mobile, les stations de base sont reliées à des contrôleurs de stations de base pour former le réseau d'accès. Les contrôleurs de stations de base sont connectés aux commutateurs du réseau mobile. Des serveurs d'authentification et des bases de données d'équipements et d'abonnés permettent de gérer les appels ainsi que la mobilité des usagers.

Plusieurs stations de base sont reliées à un contrôleur de stations de base, lui-même connecté à un commutateur du réseau d'un opérateur de mobiles. À chaque commutateur est associé un VLR, base de données temporaire des abonnés connectés à une des cellules couvertes par le commutateur. L'opérateur dispose aussi d'un HLR, base de données de tous les abonnés. Il dispose également de serveurs d'authentification, d'équipements de gestion des services à valeur ajoutée nous avons la messagerie vocale ou service de diffusion de SMS, ainsi que de passerelles vers les réseaux publics.

Lorsque l'utilisateur souscrit un abonnement au service de téléphonie mobile auprès d'un opérateur, celui-ci entre les données relatives à l'utilisateur dans la base HLR. Une fois abonné, l'utilisateur est ensuite identifié par son terminal ou, dans le cas du GSM, par sa carte SIM, carte à puce amovible qui lui permet de changer facilement de terminal mobile. Lorsque l'abonné met en marche son terminal, ce dernier cherche une station de base en écoutant le canal balise diffusé par chaque station. Après avoir repéré la meilleure station de base en général celle pour laquelle il reçoit le mieux le canal balise et écouté les différentes informations systèmes diffusées par celle-ci, le terminal signale sa présence au réseau en émettant, sur un canal d'accès aléatoire, un message court comportant son identité. Ce message capté par la station de base est envoyé au réseau de l'opérateur de téléphonie mobile. Le mobile est tout d'abord authentifié puis, si tout se passe

bien, le terminal est déclaré actif au niveau du HLR et on indique dans le HLR l'identité du VLR où il se trouve. Lorsque quelqu'un cherche à joindre l'abonné, le numéro d'appel de celui-ci conduit au HLR qui renseigne sur l'état de son mobile et renvoie l'appel vers le bon VLR. Lorsque l'appel arrive au VLR, celui-ci sait dans quelle zone de localisation est situé le terminal (une zone de localisation regroupe plusieurs cellules). Un message d'alerte est alors envoyé vers le terminal par toutes les stations de base de la zone de localisation sur un canal radio prédéfini. Le terminal, qui est à l'écoute de ce canal, reçoit le message d'alerte et répond à la station de base. Lorsque toute la signalisation est bien échangée, un canal de communication permanent est établi entre le terminal et le réseau vers l'entité appelante. Si le mobile est inactif ou ne peut être joint, l'appel est routé vers un centre de messagerie vocale.

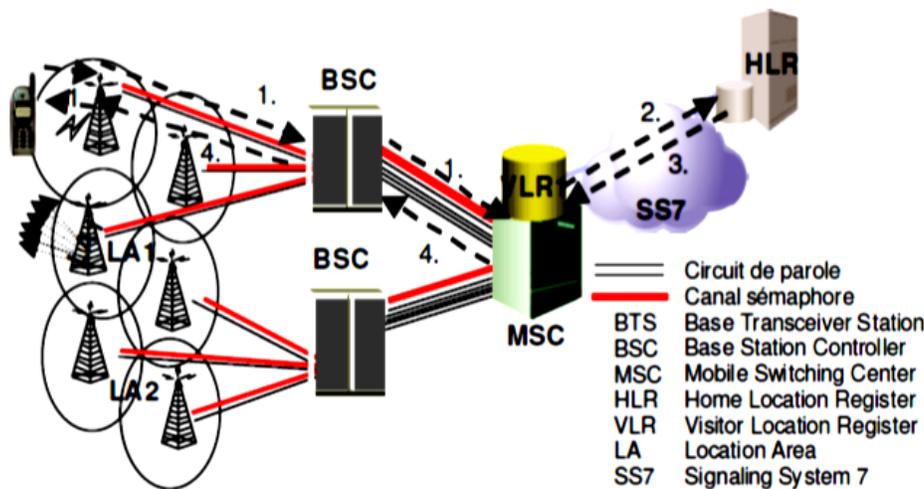


FIGURE 2.1 – Architecture réseau

## 2.2 Architecture réseau en couches (modèle OSI)

La recommandation GSM établit un découpage des fonctions et une répartition de celles-ci sur divers équipements. La structuration en couches reprend ce découpage en respectant la philosophie générale des couches du modèle OSI<sup>1</sup>.

1. **OSI** : Modèle d'interconnexion des systèmes ouverts où l'ensemble des actions permettant de faire coopérer plusieurs équipements informatiques, est structuré en couches correspondant à des niveaux de détails différents

### 2.2.1 Couches réseaux gérées par le sous système radio (BSS)

Dans le BSS on retrouve les 3 couches de base du modèle OSI :

- **La couche physique** définit l'ensemble des moyens de transmission et de réception physique de l'information.
- **La couche liaison de données** a pour objet de fiabiliser la transmission entre deux équipements par un protocole.
- **La couche réseau** a pour fonction d'établir, de maintenir et de libérer des circuits commutés notamment voix ou données avec un abonné du réseau fixe. Cette couche est ensuite divisée en trois sous couches :
  - – **La sous couche RR** (Radio Ressource) pour les aspects purement radio. Cette couche gère l'établissement d'un canal dédié et le rétablissement des canaux lors du changement de cellules. Il ne peut y avoir qu'une seule connexion RR active. C'est un pré requis nécessaire avant toute connexion réseau.
  - – **La sous couche MM** (Mobility management) qui assure la gestion de la mobilité génère des échanges entre la MS et le réseau mise à jour de localisation. Elle assure aussi les fonctions de sécurité, ce qui va provoquer des échanges de messages particuliers lors de la plupart des demandes de services.

Cette couche permet à la couche CM de faire abstraction des problèmes de l'aspect itinérant et radio de la MS et de se ramener au cas d'un accès terminal fixe au réseau RNIS. Une telle connexion est établie sur demande de la couche CM (sur envoi d'appel ou SMS) non pas par envoi de message d'établissement mais implicitement par le premier message CM
  - **La sous couche CM** (Connection Management). Elle assure la gestion des usagers, l'acheminement et l'établissement des appels d'un abonné. Elle est découpée en quatre entités :
    - – – **L'entité CC** (Call Control) qui traite la gestion des connexions de circuit avec le destinataire final.
    - – – **L'entité SMS** (Short Message Service) qui assure la transmission et la réception de messages courts.
    - – – **L'entité SS** (Supplementary Services) qui gère les services supplémentaires.
    - – – **L'entité GCC** (Group Call Control) qui a pour objet de contrôler

les appels de groupes. (*Attention seulement téléphone compatible SIM phase 2+*)

- – – **L’entité BCC** (Broadcast Call Control) qui a pour objet de contrôler les appels diffusés. (*Attention seulement téléphone compatible SIM phase 2+*) La couche 1 — physique et la couche 2 — liaison de données sont gérées dans leur intégralité dans le BSS. En revanche, concernant la couche 3 — réseau, seule la sous couche RR est gérée au sein du BSS, les sous couches CM et MM ne font que « transiter » par le BSS sans être analysées.

## 2.2.2 Couches réseaux gérées par le sous système fixe (NSS)

Le réseau fixe NSS que nous avons vu précédemment regroupe ensuite les 4 couches complémentaires du modèle OSI. Le réseau NSS en GSM est relié et géré avec le RTC .

Les 4 couches complémentaires sont ainsi regroupées au sein de cet ensemble qui permet de gérer les connexions entre abonnés mobiles et abonnés fixes.

## 2.3 Les méthodes d’accès aux réseaux

Avant d’aborder le fonctionnement des réseaux de mobiles, il est important de spécifier la signification physique d’un canal de transmission et la manière dont les utilisateurs y accèdent. Dans les réseaux de mobiles, la transmission radio passe par l’interface radio, que se partagent les utilisateurs d’une même cellule. Plusieurs méthodes permettent aux mobiles d’accéder à la ressource radio. Ces méthodes ont toutes pour principe de diviser la bande de fréquences, généralement très limitée, en plusieurs canaux physiques assurant la communication tout en respectant les contraintes permettant d’éviter les interférences. Les trois principales méthodes d’accès utilisées par les réseaux de mobiles sont FDMA , TDMA et CDMA .

### 2.3.1 Le FDMA

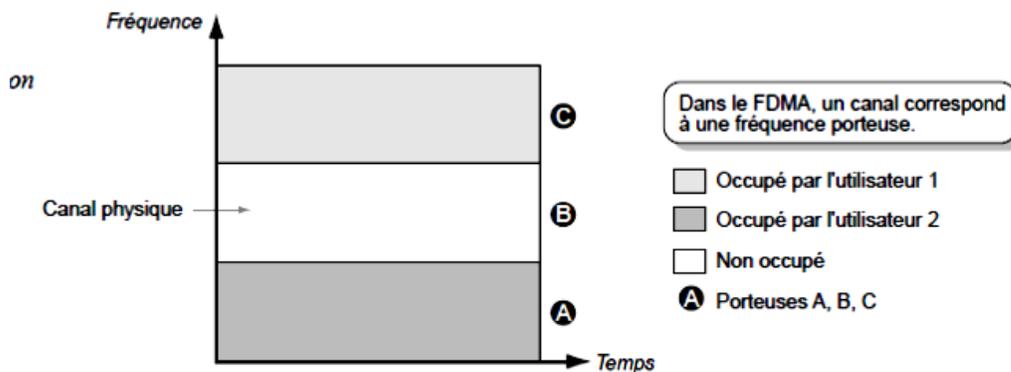
La méthode d’accès FDMA, ou accès multiple par division de fréquences, repose sur un multiplexage en fréquences. Le multiplexage fréquentiel divise la bande de fréquences en plusieurs sous-bandes. Chacune est placée sur une fréquence dite porteuse, ou carrier, qui est la fréquence spécifique du canal. Chaque porteuse

ne peut transporter que le signal d'un seul utilisateur. La figure 2.2 illustre un multiplexage FDMA de trois porteuses acceptant trois utilisateurs sur le même support. Cette méthode nécessite une séparation entre les porteuses pour éviter les interférences.

La méthode FDMA est essentiellement utilisée dans les réseaux analogiques tels que l'AMPS (Advanced Mobile Phone System), qui comporte 823 porteuses, avec une séparation de 30 kHz entre les porteuses adjacentes.

### 2.3.2 Le TDMA

La méthode TDMA, ou accès multiple par division temporelle, offre la totalité de la bande de fréquences à chaque utilisateur pendant une fraction de temps donnée, dénommée slot (intervalle). L'émetteur de la station mobile stocke les informations avant de les transmettre sur le slot, autrement dit dans la fenêtre temporelle qui lui a été consacrée. Les différents slots sont regroupés en une trame, le système offrant ainsi plusieurs voies de communication aux différents utilisateurs. La succession des slots dans les trames<sup>2</sup> forme le canal physique de l'utilisateur, comme illustré à la figure 2.2. Le récepteur enregistre les informations à l'arrivée de chaque slot et reconstitue le signal à la vitesse du support de transmission. Le TDMA s'applique principalement à la transmission de signaux numériques, contrairement au FDMA, conçu pour une transmission analogique. Toutefois, la combinaison des deux techniques est envisageable. La figure 2.3 illustre une bande de fréquences déjà divisée par le FDMA en sous-bandes centrées autour de différentes porteuses. Chaque sous-bande est ensuite partagée en slots, suivant la méthode TDMA, ce qui permet d'augmenter considérablement le nombre d'utilisateurs dans le réseau.



2. **trames** : Ensemble d'intervalles de temps répété périodiquement

FIGURE 2.2 – Le FDMA(Frequency Division Multiple Access), ou multiplexage fréquentiel.

À titre de comparaison, le réseau GSM utilise un multiplexage fréquentiel, appelé FDD , qui permet de diviser la bande de fréquences en deux parties : une voie montante, du mobile vers la station de base, et une voie descendante, de la station de base vers le mobile. La technique TDMA partage ensuite les voies montantes et descendantes en 8 slots par porteuse.

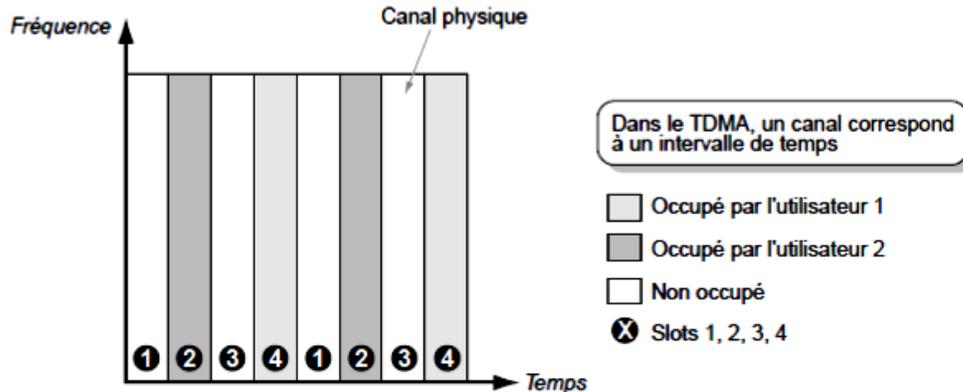


FIGURE 2.3 – Le TDMA (Time Division Multiple Access), ou multiplexage temporel.

### 2.3.3 Le CDMA

Troisième méthode, le CDMA, ou accès multiple par division de codes, autorise l'allocation de la totalité de la bande de fréquences, de manière simultanée, à tous les utilisateurs d'une même cellule. Pour ce faire, un code binaire spécifique est octroyé à chaque utilisateur. L'utilisateur se sert de son code pour transmettre l'information qu'il désire communiquer en format binaire d'une manière orthogonale, c'est-à-dire sans interférence entre les signaux, aux autres communications. En CDMA, chaque utilisateur dispose de toute la largeur de la bande passante. L'attribution de différents codes permet une réutilisation de la même fréquence dans les cellules adjacentes. Cela offre un avantage considérable à cette méthode par rapport aux deux autres, le TDMA et le FDMA. Toutefois, les codes étant seulement quasi orthogonaux à la réception, un problème d'auto-interférence entre en jeu, qui s'intensifie au fur et à mesure que le nombre de communications simultanées augmente. Excédant le nombre maximal de codes attribués, la surcharge de la cellule affecte en outre tous les autres utilisateurs par l'interférence provoquée

sur leurs canaux, alors que, en comparaison, un seul utilisateur est brouillé en TDMA.

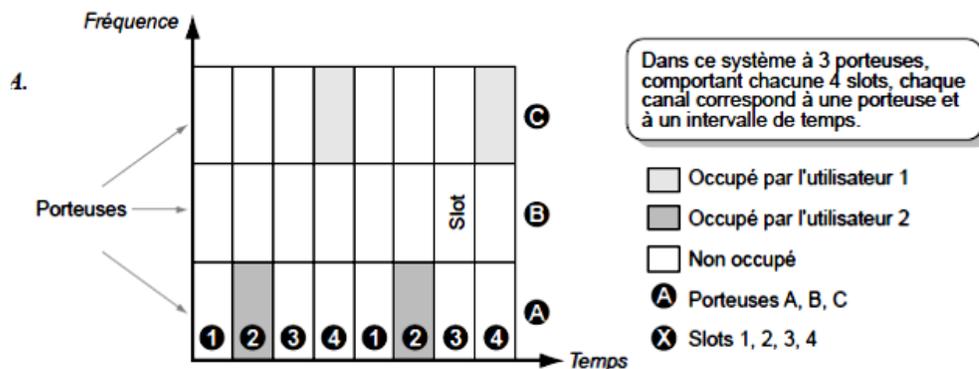


FIGURE 2.4 – Le CDMA (Code Division Multiple Access), ou multiplexage par code.

## 2.3.4 Formation de la trame

### 2.3.4.1 Le rôle de canaux

- le canal de contrôle **SACCH** permet d'en effectuer la supervision (contrôle de puissance, contrôle de la qualité du lien radio, compensation du délai de propagation par le mécanisme d'avance en temps, gestion des mesures des stations voisines) et d'écouler différents types de contrôles ou de signalisation.
- Le canal **FCCH** permet aux mobiles de se caler sur la fréquence nominale de la station de base
- Le canal **SCH** fournit au mobile tous les éléments nécessaires à une complète synchronisation avec la station de base et il permet de caractériser la voie balise par un marquage spécial
- Le canal **BCCH** permet de diffuser des données caractéristiques de la cellule
- Le canal **RACH** est un canal de contrôle partagé par un ensemble de mobiles qui leur permet de se signaler au réseau pour effectuer une opération telle que la localisation, l'envoi de messages courts, l'appel normal
- Le canal **AGCH** permet d'allouer un canal de signalisation lorsque l'infrastructure reçoit une requête du mobile.
- Le canal **PCH** supporte l'ensemble des appels en diffusion (Paging<sup>3</sup>)
- Le canal **TCH** est un canal de transmission des informations (parole ou données)

3. **Paging** : Technique consistant à diffuser un appel sur l'ensemble de la zone où est susceptible de se trouver le mobile demandé

Chaque porteuse est divisée en intervalle de temps, le plus petit élément de ces structures est le slot, d'une durée de 0,5769 ms il permet de véhiculer avec une périodicité bien définie des éléments d'informations appelés "burst". Les slots ou "Time slot" sont groupés par huit afin de définir l'élément essentiel du système GSM : la trame TDMA, sa durée est de  $8 \times 0,5769 = 4,6152$  ms. Chaque utilisateur utilise un slot par trame TDMA, ces slots sont numérotés avec un indice TN (Time slot Number) allant de 0 à 7. Le système GSM est constitué principalement de canaux logiques, ces canaux sont la résultante d'une répétition périodique de slots dans la trame TDMA, on l'appelle la multi-trame. Tous les canaux logiques n'ont pas les mêmes besoins, certains se contentent de faibles débits alors que d'autres sont beaucoup plus gourmands en ressource. Afin de gérer les débits et de définir une périodicité sur les canaux logiques, on a créé deux structures de Multi-frames. La Multi-trame 26 compose de 26 trames TDMA, d'une durée de 120 ms, et la Multi-trame 51, composée de 51 trames TDMA, d'une durée de 235,8 ms. Pour gérer ces deux multi-frames, on a créé la Super-trame, structure rassemblant 26 Multi-trame 51 ou indifféremment 51 Multi-trame 26. Sa durée est de 6,12 s, mais la Super-trame n'a pas de fonction essentielle, son seul rôle est de contribuer à la définition de l'Hyper-trame. Composée de 2048 super-frames, sa période est de 3h 28mn 53s 760 ms. Elle va servir de base à la création d'un code de temps : "Time code", chaque trame TDMA composant la l'Hyper-trame se voit attribuer un numéro : "Frame Number". Ce compteur va permettre au mobile de se synchroniser finement avec la cellule en se verrouillant dessus, le "Time code" démarre au même instant pour toutes les fréquences d'une même BTS. Le compteur est aussi utilisé pour le chiffrement dans l'algorithme A5.

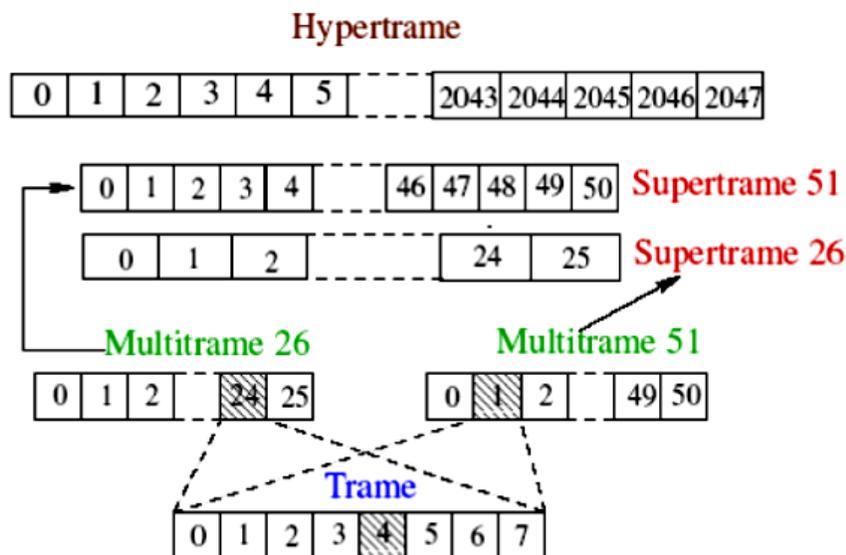


FIGURE 2.5 – Organisation des trames

### 2.3.4.2 Synchronisation logique

Chaque trame est repérée par son numéro FN<sup>4</sup> que transmet régulièrement la BTS vers les mobiles. Toutes les trames de n'importe quel slot et pour toutes les fréquences d'une BTS ont à un instant donné, le même FN. L'utilisation de canaux logiques va permettre une utilisation efficace des ressources radio et une qualité de service satisfaisante. Parmi ces canaux on distingue les canaux dédiés (TCH et SACCH), c'est à dire alloués à un mobile et sont en full duplex. Les autres canaux sont des canaux partagés entre tous les mobiles (unidirectionnel sauf le RACCH). Il serait possible de réserver un slot complet pour la signalisation. Mais cela bloquerait 1/8 du débit d'une fréquence porteuse. De plus, il serait difficile de séparer la signalisation privée, de la signalisation publique. On a donc choisi une autre méthode pour transmettre la signalisation. Pour comprendre comment sont insérés ces canaux dans les systèmes GSM, il faut définir un certain nombre de termes.

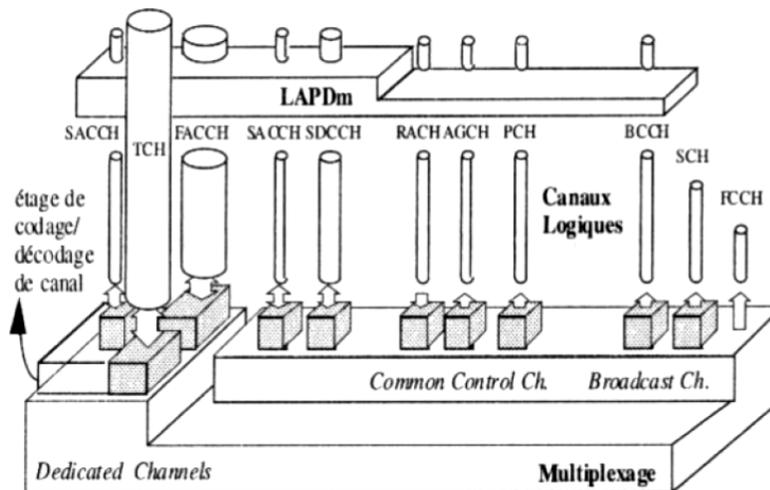


FIGURE 2.6 – Canaux logiques GSM

### 2.3.5 L'allocation de ressources

Dans un système de transmission, chaque communication consomme une ressource physique dont le volume dépend de la quantité d'information à envoyer.

4. **FN** : Numéro de la trame courante dans l'hypertrame défini pour une BTS et variant de 0 à 2 715 647

Sur l'interface radio, la ressource est le canal physique. Le système commence par définir ce canal, comme expliqué dans les sections précédentes, puis il planifie la distribution des canaux sur les différentes cellules à l'aide de mécanismes d'allocation de ressources. L'ensemble des ressources disponibles forme la bande passante. Cette bande est divisée en plusieurs ensembles de canaux radio non interférents. Ces canaux peuvent être utilisés simultanément, à condition qu'ils garantissent une qualité acceptable. Le multiplexage de plusieurs communications sur une même bande passante se fait à l'aide des techniques FDMA, TDMA ou CDMA, détaillées précédemment.

La principale caractéristique de l'interface radio est l'affaiblissement de la puissance en fonction de la distance qui sépare l'utilisateur mobile de sa station de base.

### 2.3.6 L'atténuation ou l'affaiblissement

La puissance reçue ( $C$ ) est directement liée à la puissance émise ( $P_e$ ). Elle est calculée par la formule :  $c = p_e d^{-\alpha}$   $\alpha$  étant le paramètre de l'environnement de propagation, qui peut être urbain ou rural et peut varier de 2 à 4, et  $d$  représentant la distance entre émetteur et récepteur.

La puissance d'émission de chaque canal doit être optimisée. Cela permet, d'une part, d'assurer une bonne qualité de service de la communication sur le lien radio et, d'autre part, de réutiliser un même canal dans une autre cellule, dite co-canal. Cette réutilisation d'un canal s'appelle l'allocation de ressources. L'allocation de ressources doit respecter un certain rapport signal sur interférence, ou  $C/I$ <sup>5</sup>, qui est un paramètre d'optimisation du réseau. La variable  $C$  correspond à la puissance du signal reçu, et la variable  $I$  à la somme de tous les signaux des utilisateurs naviguant sur le même canal.

### 2.3.7 Les schémas d'allocation de ressources

En résumé, l'allocation d'un canal est le produit de l'interaction entre plusieurs paramètres, tels que l'interférence, la distance de réutilisation, etc., que des schémas d'allocation de ressources contrôlent à travers le réseau.

Il existe trois grandes familles de schémas d'allocation de ressources :

---

5.  $C/I$  : comparaison de  $C$  (signal porteur) à la ( $I$ ) L' interférence

– **FCA**. La plupart des systèmes existants fonctionnent avec une assignation fixe. Ce schéma a l'avantage de la simplicité et de la rapidité. Il s'agit d'une attribution fixe de ressources à toutes les stations de base, de sorte qu'elles puissent servir les mobiles de leurs cellules. Cette attribution dépend du dimensionnement du réseau et des prévisions de trafic. Les limites de ce schéma sont qu'il ne permet pas de gérer les variations brutales et instantanées du trafic, telles que les embouteillages et les grandes manifestations, ce qui rend l'utilisation de la bande passante peu efficace. Cette situation se traduit par un manque de ressources dans les cellules chargées, possédant énormément d'utilisateurs, et une grande disponibilité dans les cellules moins chargées.

– **DCA**. Dans le DCA, toutes les ressources sont concentrées dans un groupe commun, ou common pool, tandis que les stations de base tentent d'allouer les canaux à la demande des utilisateurs. Ce procédé, qui respecte le taux d'interférences C/I sur le canal, peut accroître de façon considérable la capacité du système, en particulier dans le cas d'une distribution du trafic non uniforme dans le temps. La mise en place de ce schéma requiert en contrepartie une importante charge de signalisation et une forte puissance de calcul pour trouver rapidement une solution d'allocation optimale.

– **HCA**. Dans ce schéma, qui mélange les deux précédents, une partie des ressources sont allouées directement aux stations de base, le reste étant rassemblé dans un groupe commun, auquel toutes les stations de base peuvent accéder lorsque leur ensemble fixe est complètement alloué.

## 2.4 La technique de commutation des informations

Dans un réseau téléphonique, on parle de la commutation qui est l'ensemble de techniques que l'on met en oeuvre afin de choisir, d'établir, de maintenir et à la fin de libérer les trajets téléphoniques entre les couples d'utilisateurs abonnés au réseau.

Les noeuds qui permettent d'établir les connexions entre les usagers en fonction de leur demande sont les centres de commutation, communément appelés autocommutateurs. Car leur exploitation est maintenant toujours automatique. Les autocommutateurs permettent d'interconnecter, deux à deux, les voies de transmission qui aboutissent en grand nombre à leur accès, qu'il s'agisse de lignes d'abonnés ou de circuits reliant les autocommutateurs entre eux.

En ce qui concerne les accès multiples au réseau, les systèmes radio ont deux ressources, la fréquence et le temps.

- Division par fréquence, de sorte qu'à chaque paire de communications est allouée une partie du spectre pour tous les temps.
- Division par le temps, de sorte qu'à chaque paire de communications est attribué tous les spectres (ou du moins une grande partie du spectre).

### 2.4.1 Commutation des informations

Dans un réseau de téléphonie mobile, la commutation peut se concevoir de manières différentes : la commutation de circuit qui consiste à offrir à un usager un circuit pour toute la durée de sa communication et la commutation de informations qui consiste à offrir le service de commutation de informations ; l'information des sources est fragmentée en blocs élémentaires. À la commutation de informations, chaque message est découpé en informations de petite taille qui sont numérotés pour un réassemblage éventuel. Les informations circulent dans le réseau et les noeuds de commutation en effectuent le routage et l'hébergement. Sur le tronçon, les informations se suivent, même s'ils n'appartiennent pas au même message.

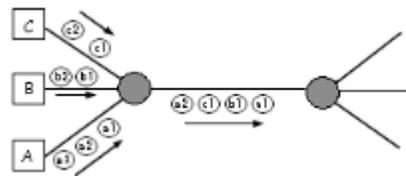


FIGURE 2.7 – Commutation des informations

Les informations sont envoyés à leur destination par la meilleure route disponible, puis réassemblés à la réception. Dans les réseaux de commutation de informations, les informations sont acheminés vers leur destination via la route la plus appropriée, mais tous les informations qui voyagent entre deux hôtes n'empruntent pas la même route, même s'ils font partie d'un même message. Cela garantit presque que les informations parviendront à destination à des moments différents et dans le désordre.

Les informations (messages ou fragments de messages) sont acheminés individuellement entre les noeuds sur les liaisons de données qui peuvent être partagées

par d'autres noeuds. Contrairement à la commutation de circuits, avec la commutation par informations, plusieurs connexions aux noeuds sur le réseau partagent la bande disponible.

### 2.4.2 Principe de commutation

Pour la communication entre usagers, la commutation est essentielle. Il est en effet, impensable de relier chaque usager à tous les autres. En effet, si l'on voulait relier  $n$  stations directement à chacune d'elles, il faudrait établir  $n(n-1)/2$  liaisons ce qui est impensable au niveau planétaire.

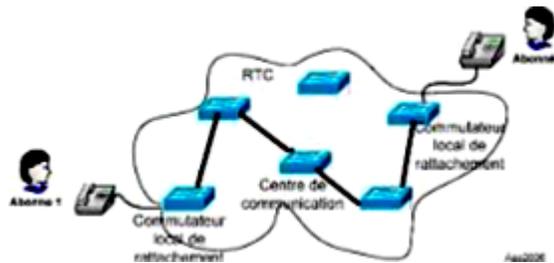


FIGURE 2.8 – Commutation à 6 liaisons

### 2.4.3 Types de commutation de paquets

#### 2.4.3.1 Le Datagramme

La commutation de paquets offre le service de datagramme si les paquets arrivent à la destination sans aucune garantie de séquençement. En effet, si les paquets ont pris différents chemins, ils risquent d'arriver dans le désordre.

Dans le service de datagramme, chaque paquet contient l'adresse du destinataire et est acheminé indépendamment des autres paquets avec le risque d'arriver dans le désordre. Bien sûr, si le routage est fixe, les paquets suivant le même chemin, arriveront dans le désordre.

#### 2.4.3.2 Le Circuit Virtuel

Tous les paquets d'un même message suivent le même chemin défini pour chaque message ; la méthode est similaire à celle de la commutation de circuit. Ici, on parle aussi de service orienté connexion dont les paquets arrivent dans l'ordre d'émission à la station destinatrice. Dans le service circuit virtuel, les paquets appartiennent à une connexion identifiée par un numéro (numéro de circuit virtuel).

Il existe trois étapes pour le service circuit virtuel, qui sont :

- Établissement de la connexion ;
- Transfert des données ;
- Libération de la connexion.

#### **2.4.3.2.1 Établissement de la connexion**

Une information sur l'appel (contenant l'adresse du destinataire) est acheminée via le réseau jusqu'au destinataire. Il va tracer le chemin en laissant à chaque noeud les informations de routage relatives à sa connexion (identifié par un numéro). L'information d'appel est confirmée par un autre paquet provenant du destinataire et suivant le chemin tracé.

#### **2.4.3.2.2 Transfert des données**

Les informations appartenant au circuit virtuel suivent le chemin tracé. Elles ne contiennent plus d'adresse du destinataire mais le numéro de circuit virtuel qui est tracé à chaque noeud.

#### **2.4.3.2.3 Libération de la connexion**

L'information de libération de circuit virtuel est envoyée par un des utilisateurs et enlève toutes les informations relatives à la connexion dans les différents noeuds.

#### **2.4.3.3 Structure des informations**

L'information (appelé datagramme en anglais) peut contenir plusieurs types de données :

- Les données proprement dites (messages, fichiers,...) ;
- Certains types de données et de commandes de contrôle (requêtes de service,...) ;
- Des codes de contrôle de session (corrections d'erreur,...) indiquant qu'il faut procéder à une retransmission.

Les paquets sont constitués de l'en-tête, les données et la queue.

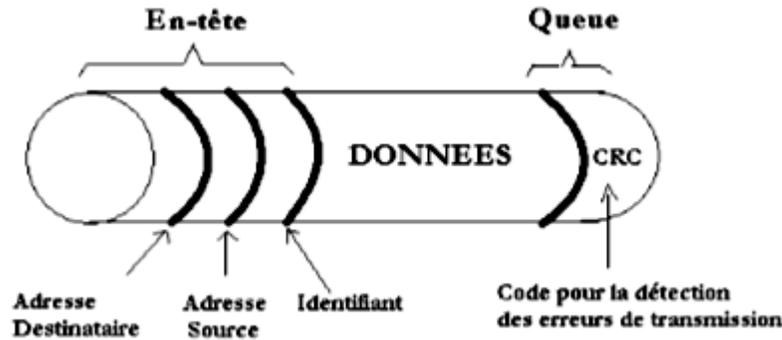


FIGURE 2.9 – Composition d'une information de données

### – En-tête

L'En-tête comprend :

- – Un signal d'alerte indiquant que l'information est en cours de transmission ;
- – L'adresse source identifiant l'émetteur ;
- – L'adresse de destination identifiant le récepteur ;
- – Des instructions indiquant aux composants du réseau comment transmettre les données ;
- – Des instructions indiquant au récepteur comment regrouper les informations pour réassembler les données originelles,...

### – Données

Il s'agit des données proprement dites, représentant la partie de l'information ou message à transmettre. La taille de cette section varie en fonction du réseau. Comme les données originelles font souvent plus de 4Ko, les données doivent être découpées en blocs suffisamment petits pour pouvoir être placées dans des paquets. Il faut de nombreux paquets pour transmettre un gros fichier.

### – Queue

La queue contient généralement un élément de contrôle d'erreurs de transmission, appelé CRC (Cyclical Redundancy Check). Le CRC est un nombre, généré par un certain calcul mathématique effectué sur le paquet à la source. Lorsque le paquet arrive à la destination, le calcul est effectué de nouveau. Si les résultats sont identiques, c'est que les données du paquet n'ont pas été déformées lors de la transmission. Si le calcul à l'arrivée diffère de celui du départ, alors les données ont changé au cours de transmission. Dans ce cas, la routine de CRC signale à l'émetteur qu'il faut retransmettre les données.

Il existe plusieurs méthodes de contrôle d'erreurs, la plus simple est le contrôle de parité où l'on compte le nombre des bits à 1 contenu dans la partie « données

» du paquet. Si le nombre des 1 est pair on met  $CRC = 0$  est si le nombre des 1 est impair on met  $CRC = 1$ .

#### 2.4.4 Le transport des données

La plupart des grands réseaux utilisent la technique de transport consistant à paquetsier l'information, c'est-à-dire à regrouper en paquets le flot des débits à transporter. Une information de contrôle est ajoutée au paquet pour indiquer à qui appartient le paquet et à qui il est destiné.

Le paquet peut être défini comme une entité de base acheminée dans les réseaux. Un paquet contient un nombre variable ou fixe d'éléments binaires. Longtemps assez courts, de façon à éviter les erreurs, les paquets se sont allongés à mesure que les taux d'erreurs diminuaient, et ils peuvent atteindre aujourd'hui plusieurs milliers d'octets.

Une fois les paquets prêts, ils sont envoyés vers un premier noeud, le noeud frontière. Ce noeud permet aux paquets d'entrer dans le réseau de l'opérateur. Ils traversent ensuite un réseau maillé, passant de noeud en noeud jusqu'à atteindre le destinataire.

La capacité des lignes qui desservent les noeuds s'exprime en bit par seconde (bit/s). Comme les noeuds actuels permettent de traiter un grand nombre de paquets à la seconde, les capacités des lignes s'expriment en Kilo bit par seconde et Giga bit par seconde.

Du téléphone sortent les octets les uns derrière les autres. Les octets sont mis dans un paquet jusqu'à ce que le paquet soit plein ou que l'on puisse attendre plus longtemps. En effet, la parole téléphonique est une application dite temps réel. Cela implique qu'entre le moment du départ de la voix et l'arrivée de cette voix à l'oreille du destinataire ne s'écoulent pas plus de 100 ms. C'est le temps maximal pour obtenir une bonne qualité de la communication.

## 2.5 Les techniques de transmission dans un réseau mobile

La couche physique est la couche la plus basse du modèle OSI. son rôle est de permettre la transmission des données et l'adaptation au support physique. L'objet de cette partie est d'étudier les principales techniques de transmission et de codage du signal sur les différents supports. Cette transmission de données a

pour rôle de mettre en communication deux ou plusieurs systèmes à travers d'une part un support physique et d'autre part des protocoles d'échanges de données.

### 2.5.1 Caractéristiques des supports de transmission

L'infrastructure d'un réseau, la qualité de service offerte, les solutions logicielles à mettre en œuvre, dépendent largement des supports de transmission utilisés. Les supports de transmission exploitent les propriétés de conductibilités des métaux (paires torsades, câble coaxial) ou celles des ondes électromagnétiques (faisceau hertzien, fibre optique). Dans cette partie, nous allons passer en revue quelques caractéristiques essentiels des supports de transmission sachant que les possibilités de transmission (débit, taux d'erreurs, distance franchissable, . . . . .) dépendent essentiellement des caractéristiques et de l'environnement de celui-ci.

### 2.5.2 Mode d'exploitation

Une ligne de données peut être exploitée de différentes manières

– Transmission simplex, réalisée entre deux équipement. La transmission ne se réalise que dans un sens et à l'initiative de l'émetteur. Elle est utilisée dans la transmission des SMS



FIGURE 2.10 – Transmission simplex

– Transmission full duplex réalisée dans les deux sens et en simultanée

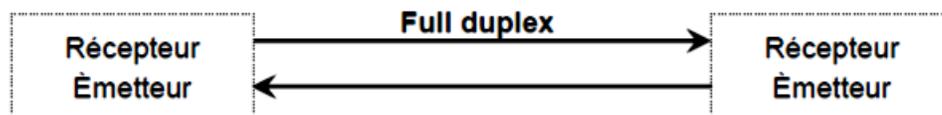


FIGURE 2.11 – Transmission full duplex

### 2.5.3 La transmission numérique

Cette transmission, également appelée digitale (de l'anglais digit) correspond au codage de l'information sous forme d'une succession de 1 et 0. Ces éléments sont transmis sous forme de signaux électriques dont la valeur est adaptée aux types de composants utilisés

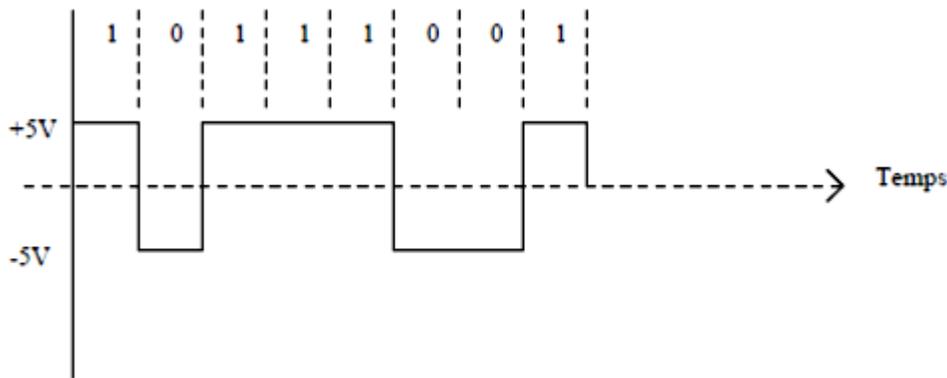


FIGURE 2.12 – Représentation d'un signal numérique

### 2.5.4 Le codage de l'information numérique

Dans ce type de transmission, l'information est émise sous sa forme initiale (numérique), avec uniquement une amplification et éventuellement une codification. Dans le réseau GSM est la technique MIC ou PCM .

En effet, le signal de la parole encore appelé signal téléphonique fut le premier à être numérisé pour être transmis sur un réseau appelé RNIS ou ISDN. La technique MIC consiste en trois étapes fondamentales :

- **L'Échantillonnage** : Le signal analogique est un signal continu qui par définition contient un nombre infini d'éléments. L'échantillonnage consiste à prélever un nombre déterminé d'éléments (échantillons) qui seront suffisants pour reconstituer à l'arrivée un signal analogique de qualité. Les différentes études ont montré qu'il suffit d'échantillonner à deux fois la fréquence supérieure contenu dans le signal. Ainsi, pour un signal de la parole où l'information est contenue dans une bande de 4000 Hz (0-4000), un échantillonnage à 8000 Hz suffit (c'est à dire toutes les 125  $\mu$ s). Échantillonner à une fréquence plus faible conduit à un signal restitué de mauvaise qualité, et un échantillonnage plus élevé augmente le volume de données à transmettre sans une

augmentation significative de la qualité.

- **La Quantification** : Elle consiste à donner à chaque échantillon une valeur prise dans une échelle de valeurs. L'erreur effectuée dans l'approximation est appelée bruit de numérisation. Ce bruit ayant une répercussion importante pour les faibles niveaux, l'échelle n'est pas une échelle linéaire. Pour le signal téléphonique, 256 niveaux ont été retenus.
- **Le Codage** : Chaque échantillon sera codé sur un ensemble de bits. Pour permettre le codage des différentes valeurs, 8 bits sont nécessaires.

#### 2.5.4.2 Transmission asynchrone

La transmission est réalisée OCTET par OCTET (8 Bits<sup>6</sup>). Pour synchroniser l'horloge réceptrice avant chaque transfert d'un octet, il faut ajouter des bits qui vont "encadrer" l'octet à transmettre :

- Bit de Début de caractère (**START**)
- Bit de Fin de caractère (**STOP**)

Dans la pratique, on utilise un bit START et un ou deux bits STOP. Pour transmettre un octet, il faut donc au minimum dix bits. De plus, il faut observer des temps de silence entre les caractères afin de garantir la re-synchronisation entre chaque caractère. Ce mode de transmission est réservé à des transmissions courtes (quelques mètres) et à basses vitesses (<9600 bps).

#### 2.5.4.3 Transmission synchrone

La synchronisation est maintenue durant toute la transmission de la trame qui s'effectue BIT à BIT. En fait, l'horloge est transmise en même temps que les données grâce au codage qui assure en permanence une synchronisation du récepteur avec l'émetteur. Pour synchroniser l'horloge réceptrice on utilise :

- **Une séquence spéciale** de début de transmission riche en transitions (passages de 0 à 1 et de 1 à 0)
- **Des bits spéciaux de correction** de phase d'horloge (codage)

Ce mode de transmission permet d'envoyer les bits des octets les uns à la suite des autres sans séparations entre les octets qui permet **d'atteindre les débits élevés**

---

6. **Bits** : Unité de mesure en informatique désignant la quantité élémentaire d'information représentée par un chiffre binaire, et qui ne peut donc prendre que deux valeurs : 0 ou 1

### 2.5.5 Protection contre les erreurs de transmission

Si, entre les deux extrémités d'une liaison, la transmission de données était parfaite, les signaux reçus par l'une seraient tout à fait identiques aux signaux émis par l'autre. En plus des imperfections connues du support de transmission (affaiblissement, déphasage), les données transmises sont perturbées de façon aléatoire par du bruit. Ces imperfections et ces perturbations se traduiront au niveau de l'information reçue, par des modifications des positions binaires : soit des disparitions, soit des adjonctions, soit des inversions ( ' 0 en 1 ' ou ' 1 en 0 ' ). L'objet de cette partie, est de décrire les méthodes couramment utilisées dans les réseaux informatiques, pour protéger les données émises contre les erreurs introduites par le canal de transmission.

La technique adoptée dans la plupart des systèmes de détection d'erreurs, consiste à ajouter des bits supplémentaires (dit redondants) à chaque bloc de données avant de le transmettre sur le support de transmission. Ces techniques utilisent un codeur à l'émission et un décodeur à la réception

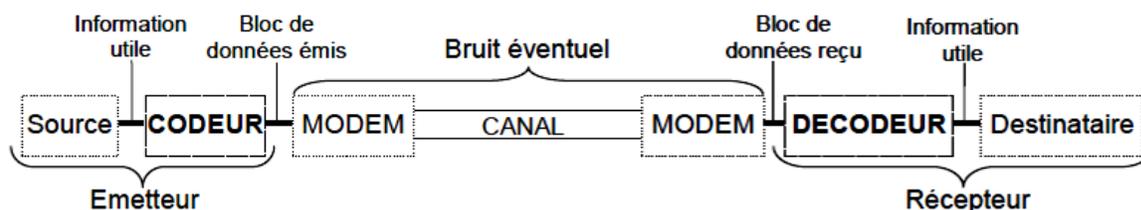


FIGURE 2.13 – Place du codeur et du décodeur

Dans la figure 2.13, l'opération de codage consiste à ajouter des informations de contrôle (informations redondantes) à l'information utile émise par la source, l'opération de décodage devra découvrir et corriger les éventuels erreurs qui seraient produites au cours de la transmission du bloc. Les stratégies d'utilisation du codeur et du décodeur dépendent du type de système de transmission utilisé, cette stratégie est une simple détection d'erreur au niveau du récepteur, elle peut avoir pour objet une correction des erreurs alors il faut distinguer deux cas, suivant les possibilités du décodeur :

- Lorsque le décodeur corrige lui même automatiquement certaines erreurs, on dit que la stratégie est une correction d'erreurs directe.
- Lorsque le décodeur ne peut que détecter des erreurs, il est nécessaire de retransmettre le bloc de données pour réaliser la correction, on dit que la stratégie est

une correction par retransmission et on la note ARQ, cette retransmission peut être de trois types différents comme l'indique la figure 2.14.

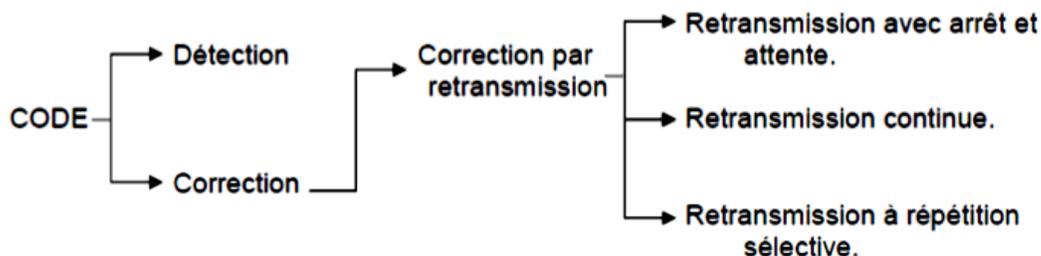


FIGURE 2.14 – Stratégie de protection contre les erreurs

### 2.5.5.1 Détection d'erreur

Pour ce type de protection, les bits redondants ajoutés aux données doit être déterminé, de manière telle que le récepteur puisse seulement détecter les erreurs éventuels de transmission, la correction elle, se fera dans une seconde phase par le biais de techniques de retransmission. Les codes de détection d'erreurs le plus courant est le contrôle de parité.

### 2.5.5.2 Contrôle de parité

Il existe deux types de control de parité (pair et impair) et il est indispensable que l'émetteur et le récepteur s'entendent sur le type à utiliser pour l'ensemble de la transmission (dans le cas contraire, un grand nombre de fausse alerte risque de se produire). Avec la parité paire, si le nombre de ' 1 ' dans les données envoyées est impaire alors le bit de parité (bit de control) est égal à ' 1 ' de manière à ce que le nombre total de ' 1 ' soit pair y compris le bit de parité, et si le nombre de ' 1 ' est déjà pair alors le bit de parité vaudra ' 0 '. Une parité impaire correspond au système inverse.

Quelque soit la parité choisie, si un bit est modifié au cours de la transmission, les calculs de parité effectués par l'émetteur et par le récepteur différeront.

Cette méthode est essentiellement utilisé dans les procédures de transmissions basés sur les caractères, et elle est peu performante puisqu'il faut ajouter 1 bit pour chaque caractère transmis et ce control fonctionne correctement seulement lorsque le nombre de bits modifiées est impair.

### 2.5.5.3 Correction d'erreur

La détection d'erreur suivie d'une retransmission est la solution la plus utilisée dans les réseaux informatiques. Des mécanismes d'accusés de réception (acquittements) permettent de confirmer à l'émetteur que les données transmises sont bien arrivées sans erreur. Notons que ces accusés de réceptions sont généralement des blocs de données spéciales. Divers types de politiques d'acquiescement et de retransmission peuvent être adaptés.

### 2.5.5.4 Retransmission avec arrêt et attente

L'émetteur transmet le bloc de données (composé de bits de données + FCS<sup>7</sup>) et attend un accusé de réception positif ou négatif :

- Si l'accusé de réception est positif (ACK<sup>8</sup> ou ACKnowledge), il émet le bloc suivant, puis il attend le prochain accusé de réception.
- Si l'accusé de réception est négatif (NACK, Not ACKnowledge), il réémet le bloc à nouveau. Cette stratégie est mise en oeuvre sur un circuit full duplex ou half duplex

### 2.5.5.5 Retransmission continue

Avec cette méthode, l'émetteur envoie une série de blocs successifs contenant des numéros de séquence sans attendre d'accusé de réception entre deux blocs, il ne s'interrompt que lorsqu'il reçoit un accusé de réception négatif (NACK). Dans ce cas la l'émetteur retransmet alors le bloc erroné ainsi que les blocs suivants. Par exemple, si l'émetteur envoie 10 blocs numérotés de 1 à 10, et que le bloc 7 est altéré, le récepteur envoie un accusé de réception négatif pour ce bloc à l'émetteur, qui lui renvoie les blocs 7,8,9 et 10.

### 2.5.5.6 Retransmission à réception sélective

Elle suit le même principe que celui de la transmission continue, sauf dans ce cas lors d'un accusé de réception négatif, seul le bloc erroné est retransmis. Cette stratégie est mise en oeuvre seulement sur une liaison full duplex.

#### Remarque :

---

7. **FCS** : Le Frame Check Sequence est le code de détection d'erreurs ajouté à la fin d'une trame

8. **ACK** : accusé de réception

Quelque soit le type de retransmission, si l'émetteur ne reçoit pas d'accusé de réception après un délai donnée, le bloc non accusé est réémis automatiquement, c'est ce qu'on appelle retransmission après dépassement de délai d'attente.

#### 2.5.5.7 Notion de taux d'erreurs

Dans la pratique, on mesure la qualité d'une liaison numérique (qualité de transmission) par le taux d'erreur appelée BER , il est donnée par le nombre de bits erronées rapporté au nombre total de bit transmis.  $T_e = \frac{\text{nombre de bits erronées}}{\text{nombre de bits transmis}}$

Le taux d'erreurs varie en pratique de  $10^{-4}$  (ligne téléphonique) à  $10^{-9}$  (réseaux locaux). Le taux d'erreurs est devenu très satisfaisant descendant souvent sous la barre des  $10^{-9}$  et cela provient de techniques de codage plus performantes et de l'utilisation de support de transmission de très bonnes qualités comme la fibre optique.

## APPLICATION DE LA TECHNIQUE DE TRANSMISSION GSM

---

### 3.1 La technique d'acheminement des appels

Dans cette partie, nous abordons l'une des fonctions essentielles d'un système de communications, à savoir la gestion des appels usagers. Le but de cette fonction est de permettre l'acheminement et l'établissement des appels d'un abonné mobile vers un autre abonné, fixe ou mobile (appel sortant), ou d'un abonné, fixe ou mobile vers un abonné mobile (appel entrant). Les abonnés appelés et appelant peuvent se trouver soit dans le même réseau, soit dans des réseaux différents situés éventuellement dans des pays différents.

#### 3.1.1 Principales entités intervenant dans l'acheminement d'appel

Dans le traitement d'un appel, on distingue d'une part l'utilisateur et sa station mobile (MS), et d'autre part, le BSS, le NSS et le réseau externe (RTCP ou RNIS). Dans le NSS, les entités fonctionnelles impliquées dans le contrôle d'appel sont : le MSCNLR, le GMSC et le HLR.

Les protocoles de signalisation permettant la gestion de l'appel sont les suivants : le niveau CC de l'interface radio, et le protocole MAP<sup>1</sup> pour les échanges entre MSCNLR et HLR d'une part et GMSC et HLR d'autre part. Le protocole BSSMAP intervient de façon ponctuelle pour la gestion des ressources radio. Les messages de niveau CC sont directement échangés entre MS et MSC grâce au protocole DTAP<sup>2</sup> entre BSS et MSC.

Pour les appels internationaux, l'interconnexion avec les réseaux téléphoniques étrangers est assurée par les commutateurs (ou centraux) de transit internationaux

---

1. **MAP** : Le protocole MAP, régit l'ensemble des échanges entre équipements du réseau coeur. Il offre les fonctions de signalisation nécessaire à un service de communication voix ou données dans un réseau mobile.

2. **DTAP** : Le protocole DTAP prend en charge les messages CM et MM entre le mobile et le MSC. Le BSC est considéré comme "transparent" : les messages transitent sans modification entre le mobile et le MSC

(CTI).

### 3.1.2 Les protocoles et messages

Nous avons figure 3.1 :

- Le protocole CC est le protocole de signalisation utilisé entre la station mobile et le MSC pour l'établissement et la libération d'appels, avec des principes voisins de ceux de la signalisation RNIS .
- Le message SETUP est envoyé par une station mobile appelante pour indiquer qu'elle souhaite établir un appel. S'il s'agit d'un appel urgent, un message EMERGENCY SETUP est alors envoyé.
- Le message CALL PROCEEDING optionnel peut être renvoyé par l'utilisateur appelé à l'émetteur du message SETUP pour indiquer que le message SETUP a été reçu et que l'établissement d'appel demandé a été déclenché.
- Le message ALERTING peut être envoyé par l'utilisateur appelé pour indiquer que l'alerte de l'utilisateur appelé a été déclenchée.
- Le message CONNECT est envoyé par le MSC au demandeur pour signaler que le demandé accepte l'appel. Un message CONNECT est acquitté par un message CONNECT ACKNOWLEDGE.
- Si l'appel ne peut aboutir, l'appelant reçoit un message RELEASE COMPLETE. Après l'établissement de l'appel, l'appelant ou l'appelé peut le libérer à tout moment. Pour ce faire, il émet un message DISCONNECT et reçoit une réponse RELEASE qu'il acquitte par un message RELEASE COMPLETE.

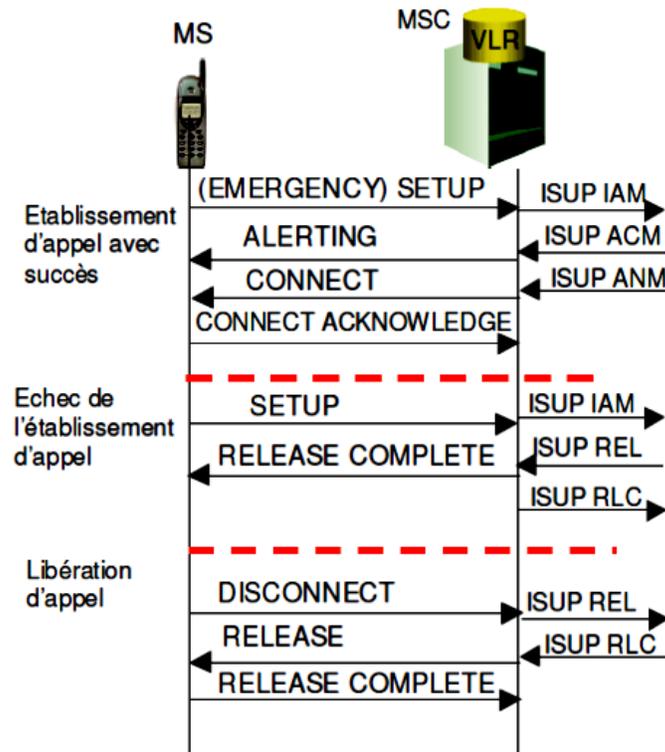


FIGURE 3.1 – Protocole et messages

Le MSC/VLR peut à tout instant allouer une nouvelle identification TMSI<sup>3</sup> à la station mobile. Pour ce faire, il émet un message TMSI REALLOCATION COMMAND. La station mobile stocke le TMSI sur sa carte SIM et retourne un acquittement TMSI REALLOCATION COMPLETE au MSC/VLR.

Le réseau initie une procédure d'authentification et de chiffrement à l'aide du message AUTHENTICATION AND CIPHERING REQUEST contenant tous les paramètres nécessaires pour le calcul de résultats à partir d'algorithmes d'authentification et de chiffrement. La station mobile retourne les résultats au MSC/VLR à travers la réponse AUTHENTICATION AND CIPHERING RESPONSE. Si la réponse n'est pas valide, un message AUTHENTICATION AND CIPHERING REJECT est envoyé à la station mobile.

La procédure d'identification permet au réseau de demander à la station mobile de fournir une identification spécifique IMSI, ou IMEI.<sup>4</sup> Le MSC/VLR transmet un message IDENTITY REQUEST qui spécifie l'identification demandée.

3. **TMSI** : Identité temporaire attribué par le réseau à une MS et utilisée ensuite pour les transactions sur voie radio.

4. **IMEI** : Identité internationale spécifique d'un terminal

La station mobile retourne une réponse IDENTITY RESPONSE contenant les informations requises.

### 3.1.3 Appel entrant à destination d'un abonné de réseau mobile localisé dans son réseau nominal

Puisque le mobile s'est enregistré auprès du réseau mobile, il peut dès à présent émettre et recevoir des appels. Considérons un appel entrant :

1. Un abonné fixe numérote "691904298" ; l'appel est acheminé via le protocole ISUP (message ISUP IAM) vers le GMSC le plus proche du Class 5 Switch auquel est rattaché l'appelant. Ce GMSC appartient à l'opérateur auquel le destinataire est abonné. Le numéro (691904298) est le MSISDN du mobile (numéro d'annuaire).

2. Le GMSC interroge le HLR (requête MAP-Send-Routing-Information) qui contient le profil de l'utilisateur mobile destinataire (Le HLR est identifié en fonction des chiffres 91 90 du MSISDN), pour connaître la localisation du mobile. Le HLR connaît l'adresse géographique de la dernière localisation du mobile, c'est à dire le numéro du VLR qui la possède.

3. Le HLR demande au VLR (requête MAP-Provide-Roaming-Number) de lui fournir un MSRN (numéro de réacheminement).

4. Le VLR fournit au HLR un numéro de MSRN de la forme 237691904298 (réponse MAP ProvideRoamingNumberack), numéro qu'il est possible d'acheminer à travers le RTCP.

5. Le HLR retourne le numéro de MSRN<sup>5</sup> au GMSC (réponse MAP-Send-Routing-Information-ack). La première partie de ce numéro est utilisée pour joindre, à travers le RTCP national ou international, le MSC où se trouve actuellement le mobile. Dans notre exemple, c'est le préfixe 69190 du MSRN qui permet de joindre le MSC où est localisé le mobile.

6. Via le RTC, le GMSC relaye le message ISUP IAM<sup>6</sup> au MSC concerné (celui auquel est rattaché le mobile destinataire). Le numéro de destination dans le message ISUP IAM est le MSRN. Le VLR gérant la zone de couverture radio de ce MSC retrouve, par le MSRN, l'identité du mobile demandé. Par une opération

---

5. **MSRN** : Numéro E164 alloué temporairement, permettant par un appel téléphonique ordinaire de réaliser l'acheminement vers le MSC où se trouve l'abonné mobile demandé

6. **ISUP IAM** : Premier message envoyé à informer le partenaire passer qu'un appel doit être établi sur la CIC contenue dans le message. Contient le numéro appelé, le type de service (parole ou des données) et des paramètres facultatifs

de recherche (Paging), sur toutes les BTS de la zone de localisation, le BSC appelle le demandé par son TMSI (à la demande du VLR). Le mobile "en veille" ainsi appelé se signale dans la cellule qu'il occupe. Comme pour un appel départ, le VLR procède à l'authentification du mobile et prépare le chiffrement ultérieur de la voie de parole.

9. Le mobile est "alerté" (message CC SETUP) pour qu'il commute en interne la tonalité de "sonnerie" et si le demandé décroche la communication est alors établie.

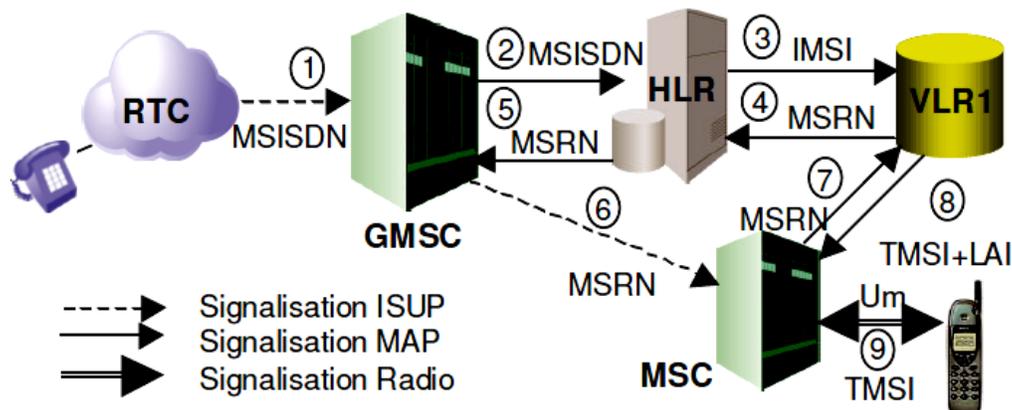


FIGURE 3.2 – Appel entrant à destination d'un abonné de réseau mobile localisé dans son réseau nominal

### 3.1.4 Appel sortant à destination du RTC

Lorsque la MS émet l'appel nous avons :

1. La MS émet un message CC SETUP à son MSC de rattachement afin d'établir un appel avec une destination du RTC .

2. Le MSC identifie la route pour l'appel d'après le numéro de destination. Il émet un message ISUP IAM au commutateur suivant ( class 5 Switch) après avoir réservé avec ce dernier une terminaison de circuit de parole libre.

3. Lorsque l'appelé est alerté, un message ISUP ACM<sup>7</sup> est retourné par le Class 5 Switch d'arrivée au MSC d'origine.

4. Le MSC alerte l'appelant par un message CM ALERTING.

7. **ISUP ACM** : Message retourné à partir du commutateur de terminaison lorsque l'abonné est atteint et que le téléphone se met à sonner, ou lorsque l'appel traverse un point d'interfonctionnement et le tronç intermédiaire est saisi

5. Lorsque l'appelé décroche, un message ISUP ANM<sup>8</sup> est retourné au MSC d'origine.

6. Le MSC confirme l'établissement de l'appel au demandeur à travers un message CC CONNECT.

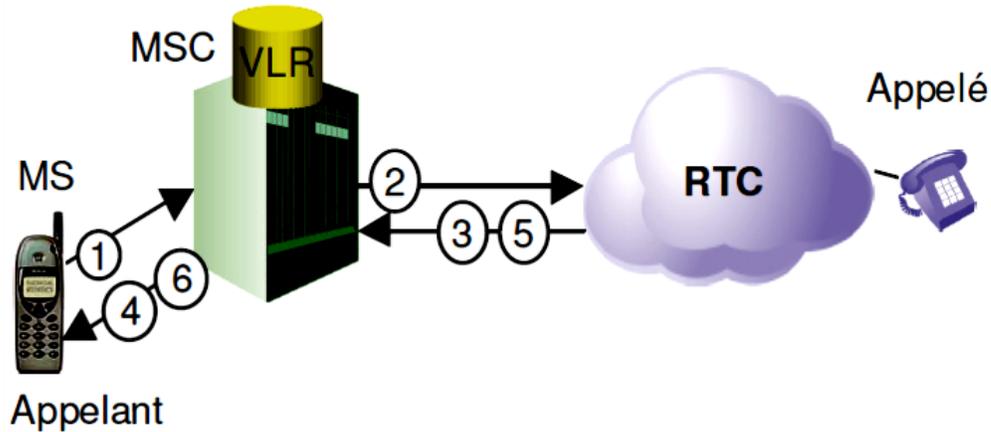


FIGURE 3.3 – Appel sortant à destination du RTC

### 3.1.5 Appel sortant à destination d'un autre mobile

Lorsqu'une station mobile tente d'établir une communication vers une autre station mobile alors deux cas peuvent se produire :

- Les deux stations mobiles dépendent du même MSC/VLR auquel cas il n'y a pas d'interaction avec le HLR puisque le VLR dispose de toute l'information nécessaire pour établir cet appel.
- Les deux stations mobiles sont enregistrées auprès de VLR différents. Le MSC rattachant l'appelant doit alors invoquer sa fonction GMSC qui se charge d'interroger le HLR afin d'obtenir un MSRN, puis relayer l'appel vers le MSC qui rattache la station mobile appelée. Le scénario ressemble à celui décrit à la figure 22 à ceci près que le commutateur qui initie l'appel n'est pas un Class 5 Switch du RTCP mais un MSC d'un réseau mobile. Ce cas est décrit par le scénario ci-dessous

1. Un abonné mobile numérote "691904298" ; le MSC de rattachement invoque sa fonction GMSC. Le GMSC interroge le HLR (requête MAP-Send-Routing-

8. **ISUP ANM** : Envoyé lorsque l'abonné décroche le téléphone, une ressource est connectée ou la supervision de réponse est renvoyé par un point d'interfonctionnement. Normalement la charge commence à ce moment. Il est nécessaire que l'appel soit coupé à travers dans les deux directions par ce point.

Information) qui contient le profil de l'utilisateur mobile appelé, afin de connaître la localisation du mobile. Le HLR connaît l'adresse géographique de la dernière localisation du mobile, c'est à dire le numéro du VLR.

2. Le HLR demande au VLR (requête MAP-Provide-Roaming-Number) de lui fournir un MSRN (numéro de réacheminement).

3. Le VLR fournit au HLR un numéro de MSRN de la forme 69190(réponse MAP *Provide-Roaming-Number-ack*), numéro qu'il est possible d'acheminer à travers le RTC.

4. Le HLR retourne le numéro de MSRN au GMSC (réponse MAP - *Send-Routing-Information-ack*) La première partie de ce numéro est utilisée pour joindre, à travers le RTCP national ou international, le MSC où se trouve actuellement le mobile. Dans notre exemple, c'est le préfixe 69190 du MSRN qui permet de joindre le MSC où est localisé le mobile.

5. Via le RTC, le GMSC achemine le message ISUP IAM au MSC concerné (celui auquel est rattaché le mobile destinataire). Le mobile est "alerté" (message CC SETUP) pour qu'il commute en interne la tonalité de "sonnerie" et si le demandé décroche la communication est alors établie.

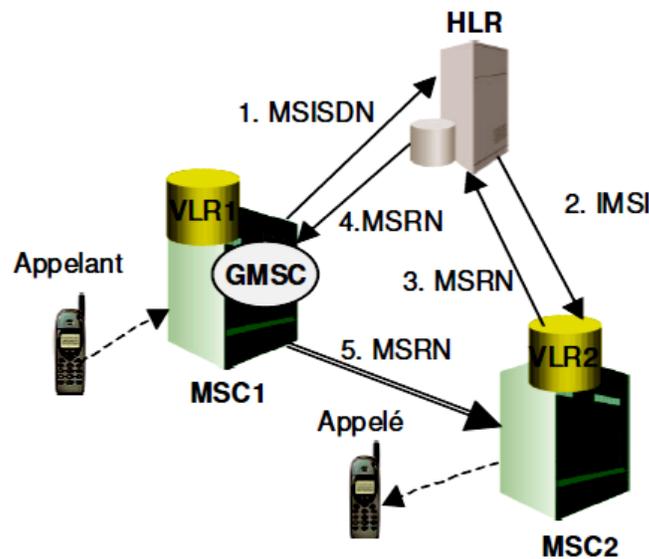


FIGURE 3.4 – Appel mobile-mobile

---

# IMPLICATION DANS LE SYSTÈME ÉDUCATIF

---

Une implication est une action par laquelle on attribue à quelqu'un un certain rôle dans une affaire. Dans notre étude, les implications sont les conséquences attendues de « TECHNIQUE DE DÉVELOPPEMENT DES RÉSEAUX CELLULAIRES À L'AIDE DES SYSTÈMES PHYSIQUES INTELLIGENTS ». Pour mieux comprendre notre sujet, nous allons élaborer une fiche pédagogique du sujet et voire l'intérêt didactique dans le système éducatif.

## Fiche pédagogique

La fiche pédagogique décrit le déroulement des activités pédagogiques, c'est une référence d'enseignement pour que le processus d'apprentissage atteigne le but décrit dans le syllabus. Elle comprend les éléments importants dans l'apprentissage comme suit :

- Le thème traité ;
- Le niveau des apprenants ;
- Les objectifs généraux, le but du processus d'apprentissage ;
- Le média utilisé pour pratiquer ;
- La méthode de travail ;
- La démarche pédagogique.

Table : fiche pédagogique

## Intérêt didactique

La didactique d'une matière s'intéresse au contenu et aux difficultés que pose son enseignement. Pour mieux comprendre la didactique de notre sujet, quelques concepts de base seront définis ; ensuite, mettre en exergue les objectifs de l'étude, sa méthodologie, et comment on doit être évalué. Enfin les problèmes rencontrés dans cette étude.

## Définition des concepts

« GSM » : désigne Global System for Mobile communications encore appelé deuxième génération .

« UMTS » : Universal Mobile Telecommunications Service encore appelé troisième génération.

«GPRS» : General Packet Radio Service ou génération intermédiaire .

« EDGE » : Enhanced Data Rates for GSM Evolution. ou génération intermédiaire.

## Objectif de l'étude

L'objectif général de cette étude est d'examiner chaque architecture. Pour atteindre la cible, il nous est indispensable de passer par les objectifs spécifiques suivants :

- Identification de l'architecture GSM et UMTS ;
- Rôle de chaque élément constitutif de chaque architecture ;
- Présentation d'un circuit d'appel.

## Méthodologie

La méthodologie de ce travail est l'utilisation des éléments de télécommunication

---

# CONCLUSION GÉNÉRALE

---

La mise en place d'un réseau GSM représente un investissement considérable. A l'heure actuelle les réseaux GSM ne cessent d'évoluer afin d'assurer une qualité de couverture toujours plus importante. La couverture du réseau est assurée par la multiplication des ensembles de station de base et contrôleurs de station de base.

Le réseau UMTS est complémentaire aux réseaux GSM et GPRS. Le réseau GSM couvre les fonctionnalités nécessaire aux services de type Voix en un mode circuit, et l'UMTS vient compléter ce réseau par une offre de services Voix et Data complémentaires sur un mode paquet

L'UMTS est ainsi une extension du GSM. La vitesse de transmission offerte par les réseaux UMTS atteint 2 Mb/s. L'UMTS est une extension du GPRS. et fonctionne également en mode paquet. L'infrastructure UMTS permet l'élargissement des fréquences ainsi que la modification du codage des données. Mais les investissements en architecture réseau sont conséquentes puisque le mode de communication entre les terminaux 3G et les BTS (appelé Node B) est différent. Les modifications matérielles sont très importantes. Après le GSM le réseau GPRS constituait une étape vers le réseau UMTS. Sur le plan technique, les architectures des trois réseaux GSM, GPRS et UMTS sont complémentaires et interconnectées afin d'optimiser la qualité de service rendu à l'abonné.

---

# Bibliographie

---

- [1] Xavier Lagrange et. Al., « Réseaux GSM», HERMES 2000, ISBN 2-7462-0153-4
- [2] Roger L. Freeman, « Radio System Design for telecommunications », Wiley-Interscience 1997, ISBN 04-7116-2604
- [3] Recommandation UIT-R M.1073-1, « Systèmes Mobiles Terrestres cellulaires Numériques de Télécommunication »
- [4] 3G TS 23.060 ETSI « GSM, GPRS, UMTS Service Description »
- [5] X. Lagrange, Réseaux radiomobiles, Collection IC2, Editions Hermès, 2000.  
[Les] P. Lescuyer, UMTS : les origines, l'architecture et la norme, Editions Dunod, 2000, Paris.
- [6] X. Lagrange, P. Godlewski, S. Tabbane, Réseaux GSM, Editions Hermès, 2000
- [7] J. Sanchez, M. Thioune, UMTS : Services, architecture et WCDMA, 2ème édition, Editions Hermès, 2004.
- [8] S. Tabbane, Ingénierie des réseaux cellulaires, Editions Hermès, 2002.
- [9] S. Tabbane, Réseaux mobiles, Editions Hermès, 1997.
- [10] Cours : Architecture protocolaire des réseaux mobiles BSS, Fabrice Valois, INSA de lyon. Avril 2004
- [11] Cours : Global System for Mobile Communication Pierre Brisson, Peter Kropf, Université de Montréal
- [12] Cours et Exercices : Initiation aux réseaux, Guy Pujolle, 1<sup>re</sup> édition EY-ROLLES 2000, 3<sup>e</sup> tirage
- [13] [http ://www.philomag.com/les-idees/lhomme-est-naturellement-mobile-8091](http://www.philomag.com/les-idees/lhomme-est-naturellement-mobile-8091)