

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



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

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention

Du Diplôme de Master en Electronique

Option : Réseaux et Télécommunications

Thème :

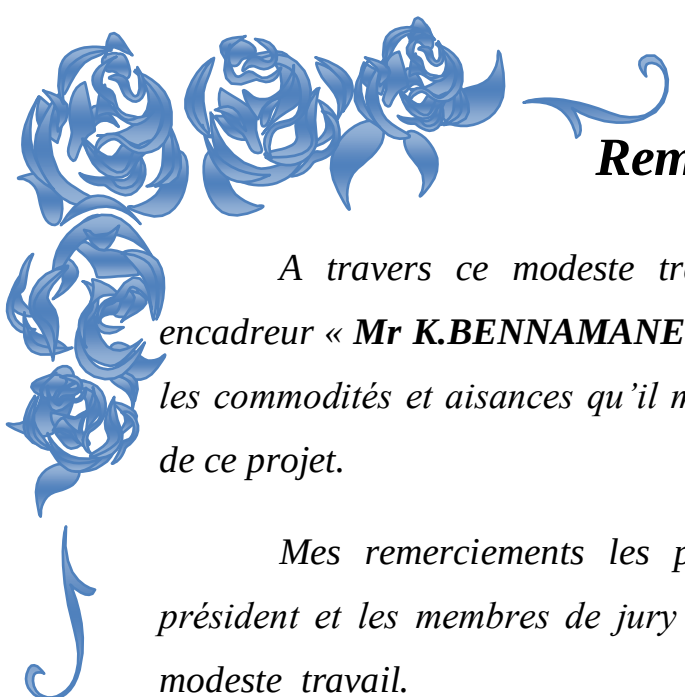
***Evolution de la plate-forme de deuxième
génération(2G) vers la troisième génération(3G)***

Proposé par :
Mr LAHDIRI Toufik

Dirigé par :
Mr. BENNAMANE Kamal

Présenté par :
M^{elle} TAZEBOUDJT Karima

Année universitaire 2011/2012



Remerciements

*A travers ce modeste travail, je tiens à remercier vivement mon encadreur « **Mr K.BENNAMANE** ». Pour ses conseils précieux et pour toutes les commodités et aisances qu'il m'a apportées durant mes études et réalisation de ce projet.*

Mes remerciements les plus vifs s'adressent aussi à messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer ce modeste travail.

*Je tiens aussi à remercier « **Mr T.LAHDIRI** » d'avoir proposé ce thème et pour l'intéressante documentation qu'il m'a mise à ma disposition.*

Sans omettre bien sûr de remercier profondément tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation du présent travail.

TAZEBODJT Karima



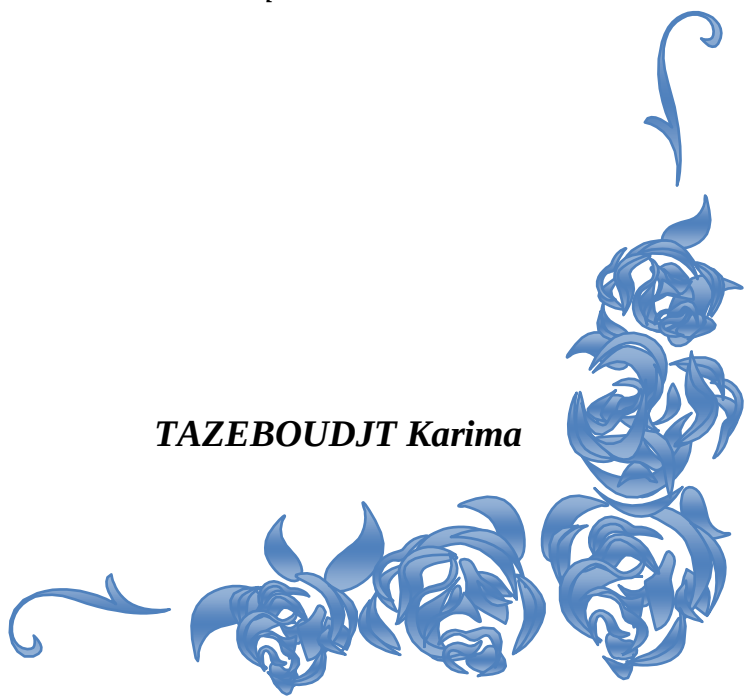


Dédicaces

Comme marque de connaissance et d'amour avec honneur et plaisir je dédie ce modeste travail :

- ✓ *A la mémoire de ma très chère grande mère*
- ✓ *A mon cher papa pour son amour tout au long de mes études et ces encouragements face au défi qui m'ont appris les termes de l'existence, de vouloir de bien être*
- ✓ *A ma très chère maman pour sa patience. Elle était pour moi la lumière de mon chemin et restera toujours à mes yeux le symbole du sacrifice.*
- ✓ *A mes grands parents*
- ✓ *A mes sœurs « **Samira** et **Amira** »*
- ✓ *A mes frères « **Yacine** et **Hani** »*
- ✓ *A mon promoteur **Mr BENNAMANE***
- ✓ *A toute la famille **TAZEBOUDJT***
- ✓ *A tous mes amis sans exception et à tous ceux qui me sont chers dans ce monde.*

TAZEBOUDJT Karima



Résumé

Ce travail a pour objectif la présentation générale d'une migration de la 2G vers la 3G, comme une solution adoptée par les opérateurs de la téléphonie pour assurer plus de services et répondre aux exigences accrues des utilisateurs.

La première partie représente des généralités sur les réseaux 2G et 3G. Par la suite, la présentation de l'interface radio WCDMA comme la technique de base utilisée dans les réseaux UMTS. Plus loin dans cette partie, l'étude des divers protocoles et mécanismes qui font fonctionner une infrastructure UMTS.

Comme partie pratique, une simulation d'une migration vers la 3G basée sur l'utilisation d'un programme de simulation, précisément un programme développé sous Matlab.

Nous finirons ce mémoire par une conclusion générale qui résume les points essentiels de ce travail et présente les perspectives de recherches suggérées.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE I : Etude de la plateforme de deuxième et troisième génération (2G) et (3G)

I.1-Préambule.....	3
I.2- La deuxième génération.....	3
I.2.1-Le standard GSM.....	3
I.2.1.1 - Concept cellulaire.....	4
I.2.1.2- Architecture du réseau GSM.....	4
A- Station mobile (MS).....	5
B- Sous-système radio (BSS).....	5
B.1- Station de base (BTS).....	6
B.2- Contrôleur de station de base (BSC).....	6
C- Sous-système de communication (NSS).....	6
C.1- Centre de commutation mobile (MSC).....	6
C.2- Enregistreur de localisation nominale (HLR).....	7
C.3- Enregistreur de localisation visiteurs (VLR).....	7
C.4- Centre d'authentification (AUC).....	7
C.5- Enregistreur d'identification et des équipements (EIR)....	8
C.6- Centre de service de messages courts (SMSC).....	8
D- Sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS).....	8
D.1- Le centre d'exploitation et de maintenance (OMC).....	8
D.2- Le centre de gestion du réseau (NMC).....	8
D.3- Administration du réseau de télécommunications (TMN)..	8
I.2.1.3-Les zones géographiques.....	9
I.2.1.3.1- Zone de localisation LA (Location Area).....	9
I.2.1.3.2 - Zone de service MSC/ VLR	9
I.2.1.4 - Bandes de fréquences allouées.....	10
I.2.1.5- Modulation GMSK.....	11

I.2.1.6 - Partage de la ressource radio.....	12
I.2.1.6.1- Partage en fréquence (FDMA) (Frequency Division Multiple Access).....	12
I.2.1.6.2- Partage en temps (TDMA) (Time Division Multiple Access).....	13
I.2.1.6.2.1- Principe.....	13
I.2.1.7- Organisation des Canaux Radio.....	14
I.2.1.7.1- les canaux physiques.....	14
I.2.1.7.2- Les canaux logiques.....	15
I.2.1.7.2.1- Les canaux de commande (control channels).....	15
I.2.1.7.2.2- Canaux de trafic TCH (Traffic CHannel).....	17
I.2.1.8- Les services offerts par un réseau GSM.....	18
I.2.1.8.1- Les services supports.....	18
I.2.1.8.2- Les téléservices.....	18
I.2.1.8.3- Les services supplémentaires	18
I.2.1.9- Déroulement d'une communication.....	19
I.2.1.9.1- définitions élémentaires.....	19
A- Le handover.....	19
B- La Localisation (location update).....	19
C- Le Roaming « l'itinérance ».....	19
D- Le paging.....	19
I.2.2- Le standard GPRS (2.5G).....	20
I.2.2.1- Présentation du standard GPRS.....	20
I.2.2.2- Architecture du réseau GPRS.....	20
A. Le nœud de service (SGSN).....	21
B- Le nœud de passerelle (GGSN).....	21
C- Le module BG pour la sécurité.....	22
D- Le routeur IP.....	22
E- Le module CCU sur les BTS PCU sur les BSC et le module.....	22
F- Le mobile GPRS.....	22
G- La carte SIM.....	23
I.2.2.2.1- Les équipements GSM utilisés.	23

I.2.2.2.2- L'acheminement en mode paquet.....	23
I.2.2.2.3-La gestion d'itinérance.....	24
I.2.2.2.4 -La gestion des sessions.....	25
I.2.3-Le standard EDGE (2.75G).....	25
I.2.3.1-Présentation de l'EDGE.....	25
I.2.3.2-Modulation 8-PSK.....	26
I.2.3.2.1-Principe de la 8-PSK « classique ».....	26
I.2.3.2.2-Modulation 8-PSK utilisée dans l'EDGE.....	27
I.2.3.3-Schémas de modulation MCS (Modulation and coding Schemes).....	28
I.3-La troisième génération.....	29
I.3.1- Présentation de l'UMTS.....	29
I.3.2- Plan de fréquences.....	30
I.3.3- Hiérarchie des cellules de l'UMTS.....	30
I.3.4- Les services de l'UMTS.....	31
I.3.5- Le réseau UMTS.....	32
I.3.5.1- Réseau d'accès UTRAN.....	32
I.3.5.1.1-Le Node B.....	33
I.3.5.1.2-Les interfaces de communication.....	34
I.3.5.1.3-RNC.....	34
I.3.5.2- Réseau cœur.....	35
I.3.5.3- Eléments communs.....	36
I.3.5.4-Le domaine CS.....	37
I.3.5.5-Le domaine PS.....	37
I.4-Discussion.....	37

CHAPITRE II : L'interface radio WCDMA

II.1-Préambule.....	38
II.2- Le WCDMA et les interfaces de deuxième génération.....	38
II.2.1- Les réseaux cœur.....	41

II.3- Généralité sur le mode CDMA.....	42
II.3.1-Définitions.....	42
II.3.2-Etalement de spectre ("spread spectrum").....	42
II.3.3-Principe de l'accès multiple avec codes.....	43
II.4.1-Introduction au mode WCDMA.....	44
II.4.2-Principaux paramètres de WCDMA.....	44
II.4.3-Étalement et désétalement.....	46
II.4.4- Canal radio à trajets multiples et récepteur Rake.....	50
II.5-La couche physique de WCDMA.....	54
II.5.1-Les canaux de transport et canaux physiques.....	54
II.5.1.1-Canal de transport dédié.....	56
II.5.1.2-Canaux de transport commun.....	56
II.5.1.2.1-Broadcast Channel.....	57
II.5.1.2.2-Forward Access Channel.....	57
II.5.1.2.3 - Paging Channel.....	57
II.5.1.2.4 - Random Access Channel.....	58
II.5.1.2.5-Uplink Common Packet Channel.....	58
II.5.1.2.6-Downlink Shared Channel.....	58
II.5.1.2.7- Canaux de transports nécessaires.....	59
II.5.1.3-Correspondance des canaux de transports et des canaux physiques.....	59
II.5.2-Etalement et modulation.....	60
II.5.2.1-Scrambling.....	60
II.5.2.2-Codes de canalisation (Channelisation).....	61
II.5.2.3- Etalement et modulation Uplink.....	61
II.5.2.3.1-Modulation Uplink.....	62
II.5.2.3.2-Etalement Uplink.....	62
II.5.2.3.3-Codes de scrambling uplink.....	65
II.5.3- Etalement et modulation Downlink.....	65

II.5.3.1- Modulation Downlink.....	65
II.5.3.2 -Etalement Downlink.....	66
II.5.3.3-Scrambling Downlink.....	66
II.5.4-Transmission de données utilisateur sur le canal dédié Uplink.....	66
II.6-Les protocoles de l'interface radio UTRAN.....	67
II.6.1-Architecture en couche.....	68
III.6.2-Protocole RLC.....	71
II.6.3 - Protocole PDCP.....	71
II.6.4 - Protocole BMC	73
II.6.5 - Protocole RRC.....	73
II.7- Discussion.....	73

CHAPITRE III : Etude de la migration de GSM vers l'UMTS

III.1-Préambule	75
III.2-Etude de la migration vers UMTS en se basant seulement sur l'infrastructure GSM existante.....	75
III.2.1-Présentation du réseau GSM.....	75
III.2.2-Analyse du trafic.....	76
III.2.3-Résultats de la simulation.....	78
III.2.4- Evaluation des résultats et analyse des performances.....	79
III.3- Outil d'optimisation pour une migration optimale vers l'UMTS (Etude de cas et évaluation des performances).....	81
III.3.1-Définition des besoins.....	81
III.3.2-Première méthode de migration.....	81
III.3.2.1-Les étapes de l'algorithme.....	81
III.3.2.2-Les résultats de la simulation.....	82

III.3.2.3-Interprétation des résultats.....	84
III.3.3-Deuxième méthode de migration.....	85
III.3.3.1-Les étapes de l'algorithme.....	85
III.3.3.2-Résultats obtenus.....	87
III.3.3.3-Interprétation des résultats.....	89
III.3.3.4-Coût de la migration vers l'UMTS.....	89
III.3.4-Comparaison entre les deux méthodes de migration.....	89
III.4-Discussion.....	90
Conclusion générale.....	91

Liste des figures

Chapitre I :

Figure I.1 : Architecture du réseau GSM.....	4
Figure I.2 : Subdivision en zones de localisation.....	9
Figure I.3 : Zone de service MSC/ VLR 1 à 4.....	10
Figure I.4 : Modulateur GMSK.....	11
Figure I.5 : AMRF (GSM 900).....	13
Figure I.6 : Structure d'une trame GSM (TDMA 8).....	14
Figure I.7: les canaux logiques.....	15
Figure I.8 : Architecture du réseau GPRS.....	21
Figure I.9 : L'acheminement en mode paquet.....	24
Figure I.10 : Les entités du réseau affectées par « introduction du EDGE »	26
Figure I.11: Modulation GMSK et 8-PSK.....	27
Figure I.12: Transitions possibles par les états de phases.....	28
Figure I.13 : Plan de fréquences pour la 3G.....	30
Figure I.14 : Hiérarchie des cellules de l'UMTS.....	31
Figure I.15 : Les besoins en débit des services de l'UMTS.....	32
Figure I.16 : Architecture globale du réseau UMTS.....	32
Figure I.17 : Architecture du réseau d'accès.....	33
Figure I.18 : Représentation graphique de l'exemple de communication.....	35
Figure I.19 : Architecture du réseau cœur de l'UMTS.....	36

Chapitre II :

Figure II.1 Relations Réseau cœur et Interfaces air de troisième génération.....	41
Figure II.2 : Allocation de la bande passante en WCDMA dans l'espace temps-fréquence-code.....	45
Figure II.3: Allocation dynamique des ressources.....	47
Figure II.4: Étalement et dés étalement en DS-CDMA.....	48
Figure II.5 : Principe de corrélation du récepteur en CDMA.....	50

Figure II.6 : Propagation à trajet multiple.....	51
Figure II.7 : Fast fading de Rayleigh du aux trajets multiples.....	53
Figure II.8 : Principe de la méthode MRC utilisée par le récepteur Rake.....	54
Figure II.9 : Architecture fonctionnelle d'un récepteur Rake.....	56
Figure II.10 : Interface entre la couche physique et les couches hautes.....	59
Figure II.11 : Correspondance entre canaux de transport et canaux physiques.....	61
Figure II.12 : Relation entre l'étalement et le Scrambling.....	61
Figure II.13 : Début de l'arbre des codes de canalisation.....	63
Figure II.14 : Transmission en parallèle des canaux DPDCH et DPCCH.....	64
Figure II.15 : Constellation du multiplexage I/Q avant scrambling.....	65
Figure II.16 : Multiplexage I/Q avec scrambling complexe.....	65
Figure II.17 : Exemple d'arbre de code DSCH.....	67
Figure II.18 : Multiplexage I-Q avec code scrambling complexe.....	68
Figure II.19: Structure du canal dédié Uplink.....	69
Figure II.20 : Vue en couches de l'interface radio UTRAN.....	71

Chapitre III :

Figure III.1 : Configuration initiale du réseau GSM.....	75
Figure III.2 : Analyse du trafic GSM.....	76
Figure III.3 : Recherche de la couverture des sites UMTS.....	77
Figure III.4 : Couverture des sites GSM/UMTS pour un taux de pénétration de 10%.....	78
Figure III.5 : Couverture des sites GSM/UMTS pour un taux de pénétration de 40%.....	78
Figure III.6 : Taux de recouvrement par site pour un taux de pénétration de 10%.....	79
Figure III.7 : Taux de recouvrement par site pour un taux de pénétration de 40%.....	80
Figure III.8 : Taux de couverture pour les deux scénarios.....	80
Figure III.9 : Organigramme de l'algorithme d'optimisation (première méthode)	82

Figure III.10 : Configuration du réseau après application du premier algorithme d'optimisation pour un taux de pénétration égal à 10%.....	82
Figure III.11 : Configuration du réseau après application du premier algorithme d'optimisation pour un taux de pénétration égal à 40%.....	83
Figure II.12 : Taux de recouvrement par site après application du premier algorithme pour un taux de pénétration égal à 10%.....	83
Figure III.13 : Taux de recouvrement par site après application du premier algorithme pour un taux de pénétration égal à 40%.....	84
Figure III.14 : Taux de couverture pour les deux scénarios.....	84
Figure III.15 : Organigramme de l'heuristique.....	86
Figure III.16 : Configuration du réseau après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 10%.....	87
Figure III.17 : Configuration du réseau après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 40%.....	87
Figure III.18 : Taux de recouvrement par site après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 10%.....	88
Figure III.19 : Taux de recouvrement par site après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 40%.....	88
Figure III.20 : Taux de couverture après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour les deux scénarios considérés.....	88

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Caractéristiques techniques des bandes GSM.....11

Tableau I.2 : Les schémas de modulation et de codage dans l'EDGE.....29

Chapitre II :

Tableau II.1 principales différences entre les interfaces air WCDMA, GSM et IS-95.....40

Tableau II.2 : Fonctionnalités des codes de Scrambling et de channelisation.....62

Tableau II.3 : Débits DPDCH Uplink.....70

Chapitre III :

Tableau III.1 : Coût de la migration du GSM à l'UMTS en utilisant l'heuristique (deuxième méthode).....89

Tableau III.2 : Comparaison entre les performances des deux algorithmes.....89

Introduction générale

Introduction générale

Après le succès mondial des réseaux de téléphonie mobile de seconde génération (dénommés 2G) qui consacraient l'avènement de la téléphonie mobile numérique et du multimédia, la nouvelle donne et l'attention internationale s'est tournée vers la 3G, les réseaux mobile de troisième génération qui viennent répondre à plusieurs inquiétudes et préoccupations notamment les questions concernant la normalisation, soulevées par la 2G, mais aussi au besoin grandissant de fourniture de services Internet et multimédia à haut débit sur les réseaux mobiles.

C'est dans ce sens que l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) sous la dénomination IMT-2000 (International Mobile Telecommunications 2000) a entrepris une action de normalisation de la 3G troisième génération de réseaux mobiles. Cette action de normalisation porte notamment sur l'identification des différentes bandes de fréquences et la généralisation des services mobiles. De cette structuration et normalisation découle un ensemble de systèmes technologique dit de troisième génération, l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System).

La migration vers la troisième génération est fortement liée au système adopté pour la 2G. Ainsi de la même manière qu'il existait deux technologies concurrentes pour la 2G, le GSM et le CDMA, on retrouvera dans la 3G plusieurs variantes. L'évolution du GSM repose sur la technologie WCDMA et aboutit à la norme UMTS. Le WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) en est la principale interface. Elle est utilisée tant en Europe qu'en Asie et cela dans la même bande de fréquence, autour de 2GHz. Le large marché couvert par le WCDMA et ses multiples capacités multimédias vont sans doute créer de nouvelles opportunités pour les constructeurs, les opérateurs ainsi que pour les fournisseurs de contenus ou d'applications.

UMTS est un standard utilisé au niveau mondial et supporte un débit jusqu'à 2 Mbps (en mode paquet), et intègre simultanément les deux modes paquet et circuit (temps réel).

Notre travail consiste à étudier de près le système de deuxième génération et aussi le réseau UMTS de troisième génération.

De la, La rédaction de notre mémoire a été organisée en trois chapitres. Dans le premier chapitre nous faisons une brève étude sur la 2G (deuxième génération) et la 3G (troisième génération) de réseaux mobiles. Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude de

l'interface radio WCDMA. Dans le dernier chapitre nous allons faire une étude de la migration de GSM vers l'UMTS et on terminera notre travail par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre I

***Etude de la plateforme de deuxième et troisième
génération (2G) et (3G)***

I.1-Préambule :

La deuxième génération de réseaux de télécommunication a connu un énorme succès au cours de la dernière décennie parce qu'elle répondait aux besoins des usagers : mobilité des services, voix, itinérance et messagerie.

Mais des nombreux indices comme l'évolution de l'Internet révèlent que les utilisateurs veulent de plus en plus les services de données sur les réseaux mobiles. Néanmoins, ces services rencontrent de multiples obstacles sur le réseau GSM (débit limité, commutation de circuit ...etc) d'où l'idée de le faire évoluer vers un autre réseau plus adapté à la transmission de données tel que le GPRS qui permet d'atteindre des débits plus élevés en mode paquet.

En outre, pour aboutir à des débits plus élevés il faut évoluer vers la technologie EDGE, qui utilise la technique de modulation 8-PSK (Phase Shift Keying) et elle définit des mécanismes de vérification de l'intégrité des données et des nouveaux mécanismes de retransmission des paquets.

Cette évolution prépare à l'introduction des Réseaux de troisième génération UMTS qui pourra atteindre un débit plus élevé allant jusqu'à 2 Mbit/s.

Pour cela, nous avons trouvé utile de présenter une vue générale sur le système de deuxième génération GSM avant d'entamer le réseau de troisième génération UMTS.

I.2-La deuxième génération :**I.2.1-Le standard GSM :**

Le réseau GSM (Global System for Mobile communications) est le standard de la téléphonie mobile le plus utilisé en Europe au début du 21^{ème} siècle. Il s'agit d'un standard de téléphonie dit << seconde génération >> (2G) où les communications fonctionnent selon un mode entièrement numérique, contrairement à la première génération de téléphones portables.

La norme GSM autorise un débit maximal de 9,6 kbps, qui permet la transmission de la voix et des données numériques de faible volume, par exemple des messages textes (SMS, pour Short Message Service) ou des messages multimédias (MMS, pour Multimedia Message Service). En Europe, le standard GSM utilise les bandes de fréquences 900 MHz et 1800 MHz. Par contre aux Etats-Unis, la bande de fréquence utilisée est 1900 MHz.

I.2.1.1- Concept cellulaire :

Un système de radiotéléphonie a pour but de permettre à un terminal d'accéder au réseau téléphonique sur un territoire d'une assez grande étendue (par exemple : un pays, voir un continent). Ce service utilise une liaison radioélectrique entre le terminal et le réseau.

La téléphonie cellulaire est un cas particulier de la radiotéléphonie. Un réseau est dit cellulaire s'il comprend une série de stations de base (BTS) qui chacune offre le service sur un petit territoire appelé cellule. Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules desservies par un relais radioélectrique (la BTS) de faible puissance, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines. Ces cellules doivent être contigües sur la surface couverte. Evidemment, le nombre de fréquences accordées au système GSM étant restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas.

I.2.1.2- Architecture du réseau GSM :

L'architecture de base du système GSM prévoit quatre sous-systèmes principaux dont chacun dispose d'un certain nombre d'unités fonctionnelles et est connecté à l'autre à travers des interfaces standard qui seront décrites ultérieurement.

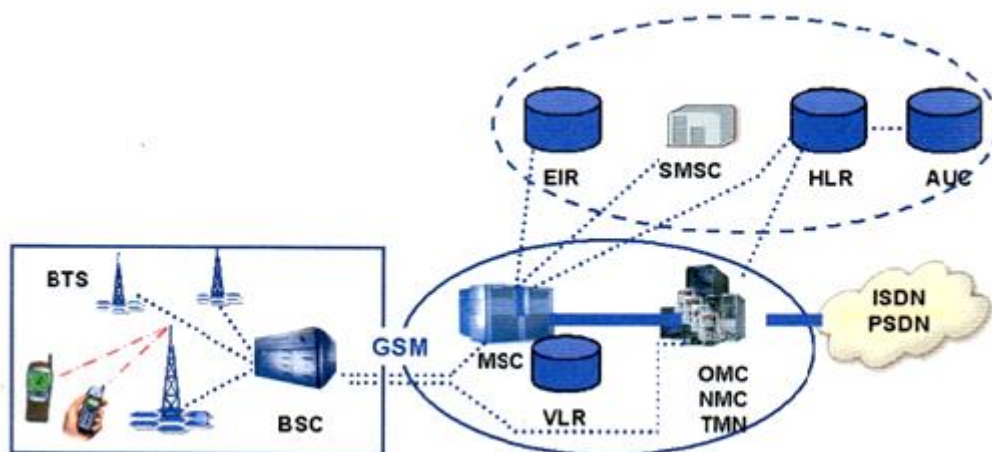


Figure I.1 : Architecture du réseau GSM

Les principaux sous-systèmes du réseau GSM et les éléments dont ils sont composés sont :

- ❖ **MS** (Mobile Station)
 - **ME** (Mobile Equipement)
 - **SIM** (Subscriber Identity Mobile)
- ❖ **BSS** (Base Station Sub-System)
 - **BSC** (Base Station Controller)
 - **BTS** (Base Transceiver Station)
- ❖ **NSS** (Network Sub-System)
 - **MSC** (Mobile Switching Center)
 - **HLR** (Home Location Register)
 - **VLR** (Visitor Location Register)
 - **AUC** (Authentication Center)
 - **EIR** (Equipment Identity Register)
- ❖ **OSS** (sous-système d'exploitation et de maintenance)
 - **NMC** (Network Management Center)
 - **TMN** (Telecommunication Management Network)

A- Station mobile (MS):

La station Mobile est composée de l'Equipement Mobile (le terminal GSM) et du Subscriber Identité Mobile (SIM), une petite carte dotée de mémoire et de microprocesseur, qui sert à identifier l'abonné indépendamment du terminal employé ; il est donc possible de continuer à recevoir et à émettre des appels et d'utiliser tous ces services simplement grâce à l'insertion de la carte SIM dans terminal quelconque.

B- Sous-système radio (BSS):

Le BSS supervise l'interface radio, il est composé d'une ou plusieurs BTS et d'un BSC. Ces éléments communiquent entre eux à travers des interfaces standardisées de types A-bis, dans le but de permettre des opérations entre des composants réalisés par des constructeurs différents. En outre le BSC est connecté au MSC grâce à une interfaces de type A.

B.1- Station de base (BTS):

Une station de base assure donc la couverture radioélectrique d'une cellule du réseau. Elle fournit un point d'entrée dans le réseau aux abonnés présents dans sa cellule pour recevoir ou transmettre des appels. Une BTS gère simultanément huit communications grâce au multiplexage TDMA utilisé et, est essentiellement un ensemble émetteur/récepteur, lui-même élément de la chaîne de communication.

B.2- Contrôleur de station de base (BSC):

Le contrôleur de station de base est l'organe intelligent du **BSS**, il gère une ou plusieurs BTS et remplit différentes missions pour les fonctions de communication et d'exploitation. Il permet plus précisément :

- ❖ La gestion et configuration du canal radio : il doit choisir pour chaque appel la cellule la mieux adaptée et doit sélectionner à l'intérieur de celle-ci le canal radio le plus adapté à la mise en route de la communication.
- ❖ La gestion de handover : Il décide, sur la base des relevés reçus par la BTS, du moment pour effectuer le handover, autrement dit, le changement de cellule lors des déplacements de l'utilisateur pendant une conversation, à l'intérieur de la surface de couverture de sa compétence.

C- Sous-système de communication (NSS):

Il exerce la fonction de communication lors de la connexion avec d'autres abonnés du réseau fixe ou mobile à travers le MSC et la fonction de bases de données, placée sur quatre nœuds intelligents (HLR, VLR, AUC, EIR) afin d'identifier les terminaux et les utilisateurs, la mise à jour de leur emplacement, l'authentification et l'acheminement des appels à un abonné en roaming.

C.1- Centre de commutation mobile (MSC):

Il est le cœur du réseau car il assure les fonctions de commutation, reliant les abonnés mobiles entre eux ou les abonnés mobiles avec les abonnés du réseau fixe, et la gestion de mobilité des abonnés par l'exécution du handover.

Pour traiter les demandes d'appels des abonnés et acheminer les appels ainsi que la gestion de l'itinérance du mobile, le MSC extrait toutes les données nécessaires des bases de

données du système et procède également à la mise à jour de ces bases de données avec les dernières informations dont il dispose. Il y a 4 bases de données qui sont associées au MSC : le HLR, le VLR, l'EIR, et l'AUC.

Le MSC peut posséder une fonction de passerelle GMSC (Gateway MSC) qui est activée au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un abonné mobile.

C.2- Enregistreur de localisation nominal (HLR):

C'est une base de données qui mémorise les informations relatives aux abonnés mobile, il est considéré comme la plus importante base de données car il enregistre pour chacun des abonnés des données statiques importantes telles que le numéro d'annuaire, l'identité internationale, et des données dynamiques relatives à la zone de localisation qui représente le numéro de VLR où il est enregistré. Le HLR est une réserve permanente d'informations concernant un abonné jusqu'à l'annulation de son abonnement.

C.3- Enregistreur de localisation visiteurs (VLR):

Il enregistre des informations dynamiques relatives aux abonnés de passage dans le réseau à chaque changement de cellule d'un abonné, d'où le dialogue permanent entre les bases de données du réseau.

Quand une station mobile entre dans une nouvelle zone, le VLR demande des informations du HLR concernant cet abonné. Cela permet au MSC d'établir les appels de départ et d'arrivée de cet abonné.

Pour une meilleure gestion de la mobilité de terminal et d'acheminement rapide des appels, l'ensemble des constructeurs semble avoir choisi d'intégrer un VLR à chaque MSC, c'est bien qu'il convient de parler de MSC/VLR.

C.4- Centre d'authentification (AUC):

C'est une base de données qui mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier l'utilisateur et pour crypter les communications afin d'assurer la confidentialité de chaque appel et de protéger le système des différentes formes de fraude. Un AUC est en général associé au HLR.

C.5- Enregistreur d'identification des équipements (EIR):

Elle contient une liste de tous les mobiles valides sur le réseau, et chaque téléphone portable est identifié par un numéro IMEI (International Mobile Equipment Identity). L'IMEI est marqué comme invalide si le mobile a été déclaré comme volé.

L'AUC vérifie l'identité de l'abonné pendant l'accès au réseau, tandis que l'équipement mobile est vérifié dans l'EIR. Généralement l'AUC et l'EIR sont intégrés.

C.6- Centre de service de messages courts (SMSC):

Le service de messages courts offert par le réseau GSM (SMS, Short Message Service) nécessite la mise en place d'un ou plusieurs serveurs spécifiques dans le réseau. Le serveur de messages courts assure le stockage des messages courts (SM) dans des bases de données, leur distribution aux terminaux mobiles destinataires et le traitement de leurs dates de validité.

D- Sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS):

Permet à l'opérateur d'administrer son réseau. Il assure la gestion et la supervision du réseau, il présente deux niveaux:

D.1- Le centre d'exploitation et de maintenance (OMC):

L'OMC est un centre de supervision et de contrôle informatisé permettant une supervision locale des équipements, plusieurs OMC vont, par exemple, superviser des ensembles de BSC et de BTS sur différentes zones, d'autres OMC vont superviser les MSC et VLR. Les incidents mineurs sont transmis aux OMC qui les filtrent et les traitent.

D.2- Le centre de gestion du réseau (NMC) :

Un seul NMC est requis pour un réseau, il contrôle les OMC subordonnés, il a pour fonction la gestion technique globale du réseau et d'autres fonctions de nature administratives ou commerciales au niveau de l'ensemble du réseau. Les incidents majeurs transmis à l'OMC vont retourner jusqu'au NMC qui les traite.

D.3- Administration du réseau de télécommunications (TMN) :

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 être remplacé par des terminaux déplacés et reliés aux équipements par l'intermédiaire d'un réseau de données.

I.2.1.3-Les zones géographiques :

I.2.1.3.1- Zone de localisation LA (Location Area) :

Chaque zone de BSC est subdivisée en plusieurs zones de localisation, un MS peut se déplacer librement dans une LA sans devoir remettre à jour son information de localisation dans le central MSC/VLR qui commande la zone de localisation. LA est la zone où le paging est diffusé pour rechercher un abonné mobile appelé. Elle peut comporter plusieurs cellules et dépendre d'un ou plusieurs BSC.

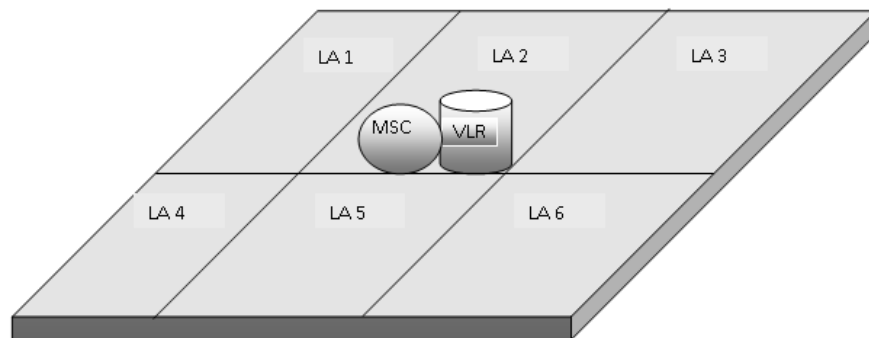


Figure I.2 : Subdivision en zones de localisation

I.2.1.3.2 - Zone de service MSC/ VLR :

Une zone MSC représente la partie du réseau couverte par un MSC. Pour acheminer un appel vers un abonné mobile ; il est transmis au travers du réseau au MSC dans la zone duquel l'abonné se trouve à ce moment.

Une zone de service est la partie du réseau définie comme une zone où une station mobile peut être jointe. En raison du fait que la MS est enregistrée dans un registre de localisation des visiteurs (VLR). Dans le GSM, la zone MSC et la zone de service couvrent exactement la même partie du réseau, le MSC et le VLR étant toujours implantés dans le même nœud.

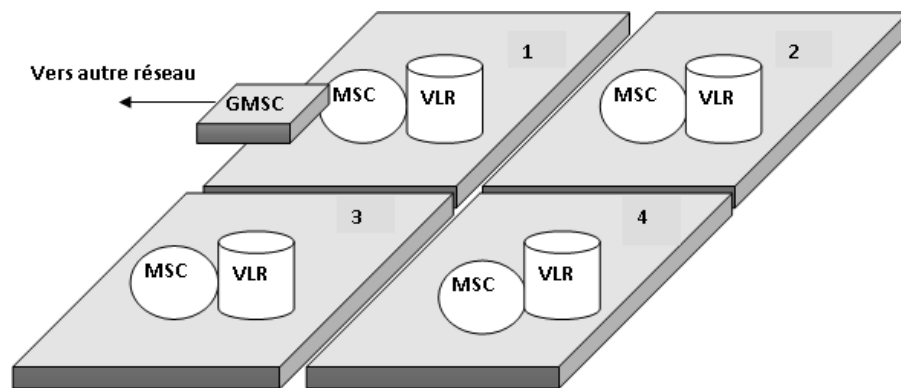


Figure I.3 : Zone de service MSC/VLR 1 à 4

I.2.1.4 - Bandes de fréquences allouées :

	GSM900	GSM1800	GSM1900
Fréquence d'émission du terminal vers la station de base	890-915 MHz	1710-1785MHz	1850-1910MHz
Fréquence d'émission de la station de base vers le terminal	935-960 MHz	1805-1880MHz	1930-1990MHz
Bande fréquence disponible	25+25 MHz	75+75MHz	60+60MHz
Mode d'accès	AMRT/AMRF	AMRT/AMRF	AMRT/AMRF
Espacement des canaux radio	200 kHz	200 kHz	200 kHz
Espacement du duplex	45 MHz	95MHz	80MHz
Nombre de canaux radio par sens	124	375	300
Nombre de canaux de parole plein débit	8	8	8
Type de transmission	Numérique	Numérique	Numérique
Débit brut d'un canal radio	270 kbit/s	270 kbit/s	270 kbit/s

Débit brut d'un canal de phonie à plain débit	22.8 kbit/s	22.8 kbit/s	22.8 kbit/s
Débit d'un codec à plein débit	13 kbit/s	13 kbit/s	13 kbit/s
Type de codage	RPE-LTP	RPE-LTP	RPE-LTP
Type de modulation	GMSK	GMSK	GMSK

Tableau I.1 : Caractéristiques techniques des bandes GSM

I.2.1.5- Modulation GMSK :

La méthode utilisée dans le système GSM est appelée « Modulation à Déplacement Minimal Gaussien » (GMSK Gaussian Minimum Shift keying). Il s'agit d'une modulation MSK à laquelle on a ajouté un filtre passe –bas Gaussien dans le but de diminuer l'occupation spectrale de signal modulé.

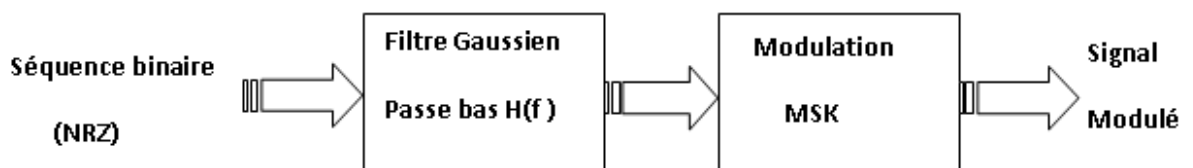


Figure I.4 : Modulation GMSK

Le signal modulant est filtré par un filtre de prémodulation gaussien dans le but de diminuer l'occupation spectrale du signal modulé. Il s'agit donc d'une modulation de fréquence à phase continue (avec un indice de modulation égale à 1/2).

Le filtre gaussien de fonction de transfert $H(f)$:

$$H(f) = \exp\left(-\frac{\ln(2) f^2}{2 B^2}\right)$$

La valeur de B est la fréquence de coupure à 3 dB de ce filtre, puisque :

$$H(0)=1 \text{ et } H(B)=1/\sqrt{2}$$

D'où :

$$20 \log(H(0)) - 20 \log(H(B)) = 3 \text{ dB}$$

On caractérise généralement ce filtre, et la modulation GMSK correspondante, par la valeur du produit BT_b , où T_b représente la durée d'un bit et B la fréquence de coupure à 3 dB du filtre gaussien. Dans le GSM $BT_b = 0.3$.

I.2.1.6 - Partage de la ressource radio :

Un système radio-mobile a besoin d'une partie du spectre radio pour fonctionner. Les concepteurs doivent donc demander une bande de fréquence auprès de l'instance officielle chargée de la gestion du spectre. Pour un système à prétention internationale, la bande est allouée au niveau de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications). La bande dédiée au système GSM est de 890 à 915 MHz pour la voie montante et de 935 à 960 MHz pour la voie descendante soit 2×25 MHz; les bandes de fréquence allouées à son extension DCS sont de 1710 à 1785 MHz pour la voie montante et de 1805 à 1880 MHz pour la voie descendante soit 2×75 MHz.

La bande radio représentant une ressource rare, les défenseurs de la norme doivent l'utiliser à bon escient et avec parcimonie. Le premier choix architectural a donc été de découper le spectre alloué pour obtenir des canaux physiques qui supporteront une communication téléphonique.

I.2.1.6.1- Partage en fréquence (FDMA) (Frequency Division Multiple Access) :

Chacune des bandes dédiées au système GSM est divisée en 124 canaux fréquentiels d'une largeur de 200 kHz. Sur une bande de fréquence sont émis des signaux modulés autour d'une fréquence porteuse qui siège au centre de la bande. Les fréquences sont allouées d'une manière fixe aux différentes BTS et sont désignées souvent par le terme de "porteuses", de plus, il faut veiller à ce que deux BTS voisines n'utilisent pas des porteuses identiques ou proches.

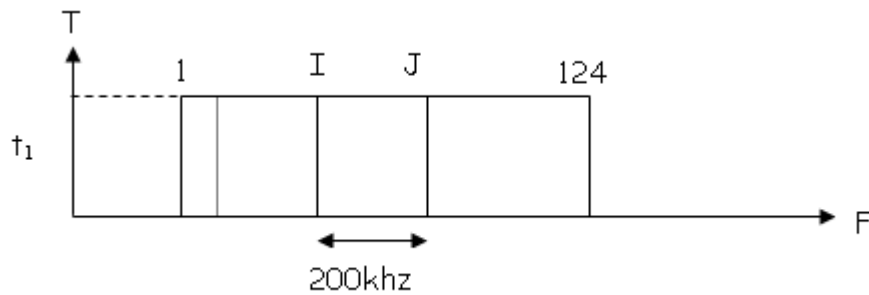


Figure I.5 : AMRF (GSM 900)

I.2.1.6.2- Partage en temps (TDMA) (Time Division Multiple Access) :

I.2.1.6.2.1- Principe :

Chaque porteuse est divisée en intervalles de temps appelés slots. La durée élémentaire d'un slot a été fixée pour la norme GSM sur une horloge à 13 MHz et vaut:

$$T_{slot} = (75/130) \times 10^{-3} \text{s} \text{ soit environ } 0.5769 \text{ ms.}$$

Un slot accueille un élément de signal radioélectrique appelé burst.

L'accès TDMA permet à différents utilisateurs de partager une bande de fréquence donnée. Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8. La durée d'une trame TDMA est donc:

$$T_{TDMA} = 8 \times T_{slot} = 4.6152 \text{ ms.}$$

Chaque usager utilise un slot par trame TDMA. Les slots sont numérotés par un indice TN qui varie de 0 à 7. Un " canal physique " est donc constitué par la répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière.

Les concepteurs de GSM ont prévus la possibilité de n'allouer à un utilisateur qu'un slot toutes les 2 trames TDMA. Cette allocation constitue un canal physique demi-débit par opposition au canal plein débit défini précédemment.

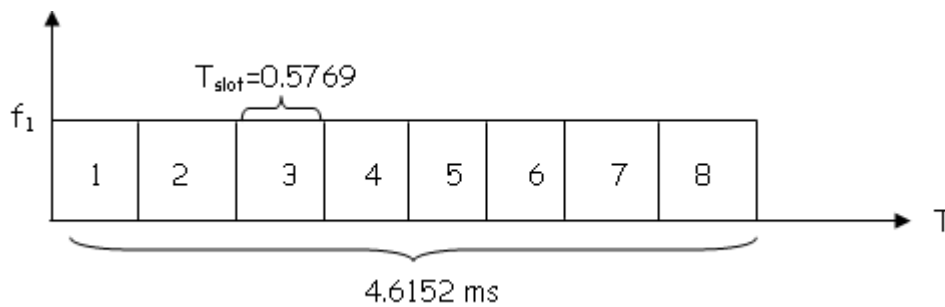


Figure I.6 : Structure d'une trame GSM (TDMA 8)

I.2.1.7- Organisation des Canaux Radio :

L'interface radio GSM est basée sur le découpage de spectre en porteuses espacées de 200KHz (principe de AMRF), chaque porteuse est découpée en 8 slots (principe de AMRT).

I.2.1.7.1- les canaux physiques :

Un canal physique simplexe est la répartition d'un slot dans chaque trame AMRT. Un canal physique duplexe est formé d'une paire de canaux physiques simplexe (les deux canaux sont séparés de l'écart duplexe). La voie montante est décalée de trois slots par rapport à la voie descendante.

Si la porteuse supportant la voie descendante est f_d , la voie montante est sur f_M .

On a : $f_M = f_d - \Delta\psi$ avec $\Delta\psi$ est l'écart duplexe

Sur chaque canal est défini une structure de multi trame, cette structure permet d'affecter régulièrement un intervalle de temps à la transmission d'un type d'information bien défini, on forme ainsi des canaux logiques multiplexés sur un canal physique.

I.2.1.7.2- Les canaux logiques :

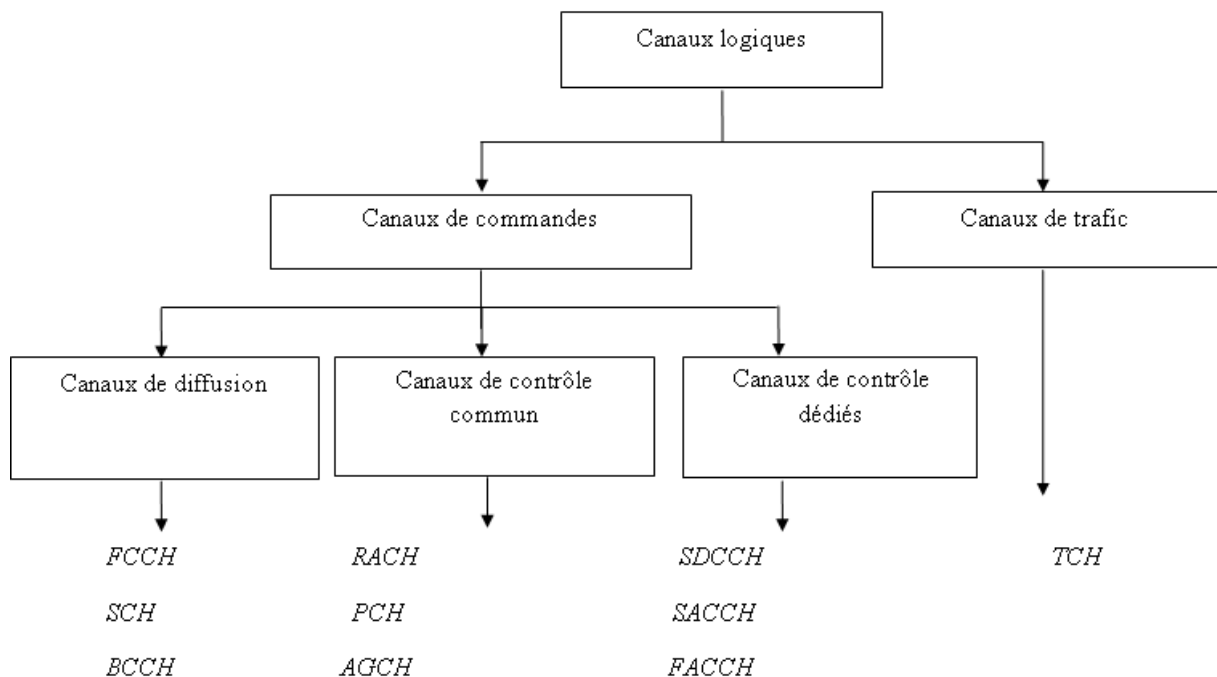


Figure I.7: les canaux logiques

I.2.1.7.2.1- Les canaux de commande (control channels) :

a- Canaux de diffusion (BCH : Broadcast CHannel, downlink) :

➤ **Canal FCCH** : Le canal FCCH (Frequency Correction CHannel) consiste en un burst particulier émis environ toutes les 50 ms. Le burst est composé de 148 bits à 0. S'il est émis sur une fréquence, il donne un signal sinusoïdal. Il correspond donc à une porteuse pure légèrement décalée en fréquence qui permet un calage fin de l'oscillateur du mobile. Le canal FCCH est présent seulement sur le TS0 de la voie balise. Il est émis dans les trames 0, 10, 20, 30 et 40 d'une multitrame à 51 trames. Il est donc émis 5 fois en 235,8 ms soit environ 20 fois par seconde.

➤ **Canal SCH** : Le burst SCH (Synchronisation CHannel) n'est émis que dans le TS0 d'une trame TDMA. Il est toujours situé après le burst FCCH, après le calage en fréquence. En écoutant le canal SCH, le MS reçoit des informations relatives à la structure des trames dans la cellule (le N° de TDMA) ainsi que le code d'identification de station de

base (BSIC) de la station de base sélectionnée. BSIC peut être décodé seulement si la BS appartient au GSM.

➤ **Canal BCCH** : Canal de commande de diffusion (Broadcast Control CHannel). Les informations qui sont diffusées sur ce canal, sont des informations concernant la cellule et ce canal contient les informations suivantes :

- la puissance d'émission (Max et Min) pour le MS
- minimum de puissance reçue
- les fréquences (porteuses) des cellules adjacentes
- numéro de la zone de localisation (LAI)

Remarque : FCCH, SCH et BCCH doivent être lus de nouveau à chaque fois que le MS change de cellule.

b- Canaux communs de commande (CCCH : Common Control CHannel) downlink et uplink :

➤ **PCH**: (Paging Channel) canal de recherche : PCH est transmis sur la liaison downlink en mode point à point. Le MS se met à l'écoute du canal de recherche à intervalles réguliers pour voir si un réseau désire le contacter suite à l'arrivée d'un appel, d'un message court ou une authentification. Ce message de recherche comprend le numéro de signalisation du MS (IMSI) ou un numéro provisoire (TMSI). Le mobile répond alors sur la cellule dans laquelle il se trouve par un accès aléatoire sur le canal RACH.

➤ **RACH** : (Random Access Channel) canal à accès aléatoire : Le canal RACH peut également être utilisé lorsque le MS désire entrer en contact avec le réseau. Le RACH est transmis sur la liaison montante (uplink) en mode point à point.

➤ **Canal AGCH** : (Access Grant CHannel) canal de concession d'accès : Lorsque l'infrastructure reçoit une requête de la part d'un mobile, il faut allouer un canal de signalisation dédié pour identifier le mobile, l'authentifier et déterminer précisément sa demande. L'allocation d'un canal dédié se fait sur des slots définies qui forment le canal AGCH. Le message d'allocation contient la description complète du canal de signalisation

utilisé : numéro de porteuse et numéro de slot, description complète du saut de fréquence s'il est implanté. Il contient aussi le paramètre TA (Time Advance).

c-Canaux de commande dédiés (DCCH : Dedicated Control CHannel) :

➤ **SDCCH:** Canal de commande dédié autonome (Stand alone Dedicated Control CHannel) Downlink et uplink.

Le MS et le RBS continuent la signalisation sur le canal de commande dédié autonome SDCCH. La procédure d'établissement de l'appel et la transmission de messages en texte (messages courts et diffusion cellulaire) sont effectués sur le canal SDCCH, entre autre. Le handover n'est pas autorisé pendant l'établissement de l'appel. Après établissement de l'appel, le MS reçoit une commande de passage à un canal de trafic TCH défini par la porteuse et l'intervalle de temps ; un canal SDCCH véhicule des blocs d'informations de 184 bits utiles codés en 456 bits soit 8 sous blocs de 57 bits. Ces 8 sous blocs sont transmis sur 8 bursts normaux.

➤ **SACCH :** Canal de commande lent associé (Slow Associated Control CHannel)
Les canaux TCH et SDCCH possèdent chacun un canal de contrôle associé à faible débit appelés SACCH. Cas uplink : Le MS envoie des mesures moyennes sur sa propre station de base (intensité et qualité du signal) et sur les stations de base adjacentes. Cas downlink : Le MS reçoit des informations concernant la puissance d'émission à utiliser ainsi que des instructions sur l'avance de synchronisation.

➤ **FACCH :** Canal de commande rapide (Fast Associated Control Channel) :
FACCH est utilisé lorsqu'un handover doit être effectué soudainement pendant une conversation. FACCH fonctionne en mode 'vol' signifiant qu'un segment de parole de 20 ms est remplacé par les informations de signalisation nécessaire au handover. L'abonné ne ressentira pas cette interruption de la parole car le bloc de parole sera répété par le codeur vocal.

I.2.1.7.2.2- Canaux de trafic TCH (Traffic CHannel) :

Il existe deux canaux de trafic, plein débit et demi-débit qui sont utilisés actuellement. Il sera possible d'utiliser les TCH à demi-débit seulement lorsque des codeurs vocaux à demi-débit offrant une qualité acceptable deviendront disponibles. Un TCH à plein débit occupe un

canal physique (un TS sur une porteuse) alors que 2 TCH à demi-débit peuvent se partager un canal physique.

I.2.1.8- Les services offerts par un réseau GSM :

Le GSM offre à ses abonnés trois catégories de services qui sont :

I.2.1.8.1- Les services supports :

Ils permettent les transferts de données de bout en bout à travers le réseau. Un service support particulier s'identifie par ses attributs. La norme GSM définit trois catégories d'attributs :

-De transfert d'information (mode de transfert circuit ou paquet, débit de transfert, type d'information,...).

-D'accès (canal et débit d'accès, protocole d'accès).

-Généraux (qualité de services, commerciaux,...).

I.2.1.8.2-Les téléservices:

Les téléservices sont les applications opérationnelles offertes par le réseau à ses abonnés, ces derniers utilisent les possibilités offertes par les services supports. Essentiellement les principaux services offerts par GSM sont :

- ❖ La téléphonie (entre deux postes mobiles ou un poste et un poste fixe).
- ❖ Les messages courts.
- ❖ Le fax.

I.2.1.8.3- Les services supplémentaires :

Les services supplémentaires améliorent les autres services, ils sont nombreux : identification de l'appelant, mise en garde d'appels, information de taxation, restrictions d'appels, messagerie vocale, conférence, numérotation abrégée, ...

I.2.1.9- Déroulement d'une communication :**I.2.1.9.1- définitions élémentaires :****A- Le handover:**

une des plus importantes caractéristiques de la téléphonie mobile est de pouvoir continuer l'appel tout en se déplaçant d'une BTS à une autre ou d'une BSC à une autre, cette caractéristique est appelée Handover, pour ce faire, des mesures de qualité de signal sont échangées (chaque 480 ms) entre le MS et le BSC à travers la BTS pour décider sur quelle nouvelle station on va « muter » l'appel.

B- La Localisation (location update) :

Le fait d'être mobile, le MS n'a pas de localisation fixe, donc pour être joint il faut que le système ait l'information de sa localisation en permanence, pour cela, quatre types de localisation sont générés :

- 1-Normal LU : lorsque l'abonné allume son poste mobile.
- 2-Périodique L.U : pour permettre au système de savoir que le MS est toujours en veille.
- 3-IMSI ATTACH : lorsque l'abonné mis sous tension son mobile.
- 4- IMSI DTTACH : lorsque l'abonné éteint son poste mobile.

Le système a besoin de connaître à n'importe quel moment la localisation de l'abonné.

C- Le Roaming « l'itinérance » :

Pour être joint n'importe quand et n'importe où, un abonné mobile peut utiliser sa ligne GSM (avec le même MSISDN) dans un autre réseau mobile d'un autre opérateur à l'extérieur du pays, cette possibilité est assurée après un commun accord entre les opérateurs ; lors de l'opération du roaming par les abonnés mobile.

D-Le paging :

Le paging est un message de recherche pour éventuel établissement d'appel envoyé par le BSC aux BTS situées dans une zone de localisation. Ces BTS diffusent ce message sur l'interface air sur le canal PCH. La recherche du MS s'effectue utilisant le numéro IMSI ou TMSI.

I.2.2-Le standard GPRS (2.5G):**I.2.2.1-Présentation du standard GPRS :**

Le GPRS (General Paquet Radio System) dit « 2,5G », permet d'obtenir des débits de l'ordre de 114 à 171,2 Kbit/s et une transmission des données en mode paquet.

Beaucoup d'applications informatiques nécessitent des débits importants pour leurs transmissions, contrairement au GSM où la transmission se fait en mode circuit ce qui provoque des inconvénients.

Le GPRS n'est pas un réseau mobile comme le GSM, mais une couche supplémentaire rajoutée au réseau GSM existant.

I.2.2.2-Architecture du réseau GPRS :

Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP.

L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le noeud de service — le SGSN.
- Le noeud de passerelle — le GGSN.

Une troisième entité :

- le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de « modules » sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

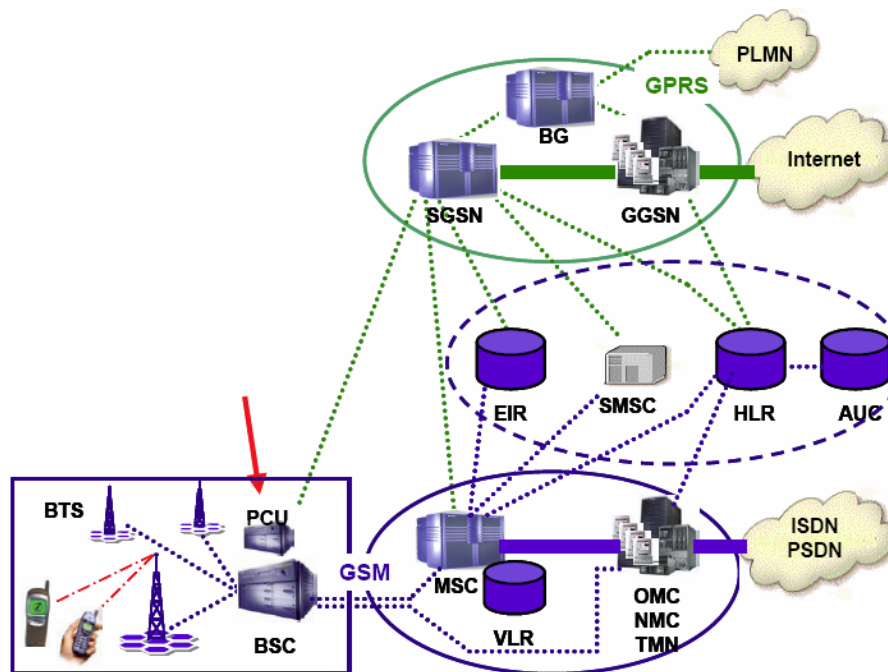


Figure I.8 : Architecture du réseau GPRS

A. Le nœud de service (SGSN) :

Le nœud de service dénommé SGSN (Serving GPRS Support Node) est relié au BSS du réseau GSM. Le SGSN est en connexion avec l'ensemble des éléments qui assurent et gèrent les transmissions radio : BTS, BSC, HLR ...

Le SGSN joue un rôle de routeur, il gère les terminaux GPRS présents dans une zone donnée. Le SGSN est le « contrôleur » des terminaux GPRS présents dans sa zone de surveillance.

B- Le nœud de passerelle (GGSN) :

Le nœud de passerelle GPRS dénommé GGSN (Gateway GPRS Support Node) est relié à un ou plusieurs réseaux de données (Internet, autre réseau GPRS...). Le GGSN est un routeur qui permet de gérer les transmissions de paquets de données :

- Paquets entrants d'un réseau externe, acheminés vers le SGSN du destinataire.
- Paquets sortants vers un réseau externe, émanant d'un destinataire interne au réseau.

NB : les termes SGSN et GGSN désignent des entités fonctionnelles qui peuvent facilement être implantées dans un même matériel. L'ensemble des SGSN, des GGSN, des routeurs IP et des liaisons entre équipements est appelé réseau fédérateur GPRS. A noter enfin que chaque SGSN et chaque GGSN disposent au minimum d'une adresse IP fixe au sein du réseau.

C- Le module BG pour la sécurité :

Les recommandations introduisent le concept de BG (Border Gateway) qui permettent de connecter les réseaux GPRS via un réseau fédérateur et qui assurent les fonctions de sécurité pour la connexion entre ces réseaux. Ces BG ne sont néanmoins pas spécifiés par les recommandations mais elles jouent le rôle d'interface avec les autres PLMN (Public Land Mobile Network) permettant ainsi de gérer les niveaux de sécurité entre les réseaux (entre 2 réseaux de 2 opérateurs concurrents par exemple).

D- Le routeur IP :

L'opérateur peut prendre le parti de gérer et d'administrer ses propres routeurs IP afin d'ouvrir le réseau GPRS vers les réseaux de données externes.

E- Le module CCU sur les BTS et le module PCU sur les BSC:

La mise en place d'un réseau GPRS au contraire du réseau UMTS ne nécessite pas de couvrir le territoire avec de nouvelles antennes puisque l'architecture GSM est réutilisée. Néanmoins, des modifications sont apportées en ajoutant des composants sur les structures de couverture du réseau GSM.

- Sur les antennes – les BTS – est ajoutent un module CCU (Channel Codec Unit).

Cette entité permet de gérer les envois d'informations vers le module SGSN.

- La norme GPRS introduit également un équipement appelé PCU (Packet Control Unit) généralement situé sur les BTS (comme sur le schéma ci dessus), les BSC ou le SGSN. Le PCU a pour fonction de gérer l'échéancier de transmission et l'acquittement des blocs sur les canaux de données.

F-Le mobile GPRS :

L'usage attendu par le réseau GPRS est la possibilité de consulter de manière interactive des serveurs. Cela nécessite donc un débit plus important sur la voie descendante que sur la voie montante. On parle de mobile multi slot : le terminal doit être en mesure de recevoir ou de transmettre des informations sur plusieurs intervalles de temps. Le coût

engendré par ces contraintes techniques amène l'opérateur à proposer à ses abonnés des terminaux plus onéreux. L'opérateur propose généralement un terminal GSM – GPRS capable de gérer les communications Voix et Data à des débits acceptables.

G- La carte SIM :

La carte SIM utilisée pour l'accès au réseau GPRS est une carte SIM similaire à celle requise pour accéder au réseau GSM classique. Quelques fichiers sont simplement ajoutés lors de la phase de personnalisation chez le fabricant de cartes.

I.2.2.2.1- Les équipements GSM utilisés :

Le réseau GPRS appuie son architecture sur les éléments du réseau GSM.

- Les BTS et BSC permettent de couvrir un territoire national pour localiser les terminaux.
- Le MSC et le VLR permettent également de gérer les problématiques d'itinérance des abonnés sur les réseaux GSM et GPRS.
- Le SMSC et le GMSC permettent la communication interne au réseau par l'envoi de messages courts à destination du terminal GPRS.
- Le HLR permet de gérer les problématiques liées à la localisation des individus (en mode GPRS, fournir une carte de la ville où se trouve l'abonné).
- L'EIR permet de gérer les problématiques liées au terminal visé.

Le réseau GPRS est totalement dépendant du bon fonctionnement des infrastructures du réseau GSM.

I.2.2.2.2- L'acheminement en mode paquet :

Lorsque le mobile transmet des données vers un terminal fixe, les données sont transmises via le BSS (BTS + BSC) au SGSN qui envoie ensuite les données vers le GGSN qui les route vers le destinataire.

Le routage vers des terminaux (terminal mobile vers terminal mobile ou terminal fixe vers terminal mobile) utilise le principe de l'encapsulation et des protocoles tunnels (partie en surbrillance orange sur le schéma ci-dessous). Les données reçues par le GGSN sont transmises au SGSN dont dépend le mobile destinataire.

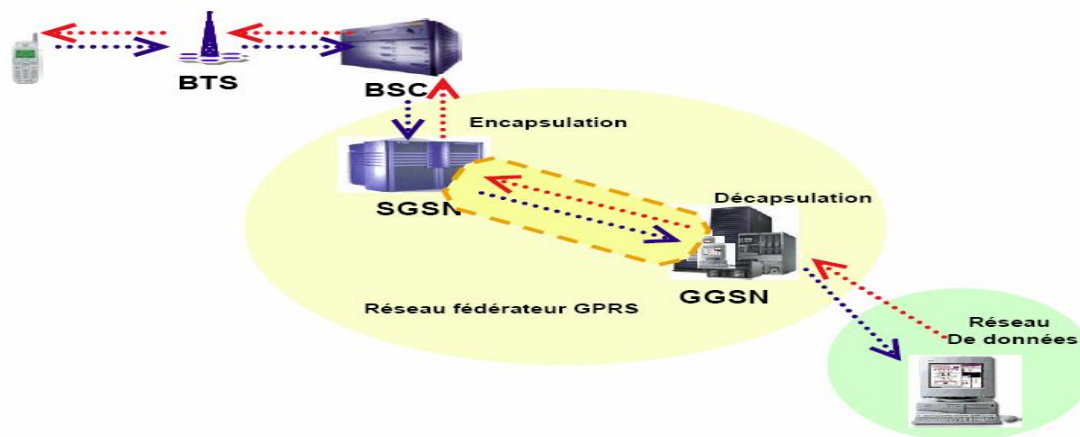


Figure I.9 : Acheminement des données en mode paquet

Ainsi des données recueillies en protocole IP de l'extérieur via un routeur IP pourront être communiquées dans des paquets X25 par le principe du tunnel encapsulation – décapsulation. On parle de protocole PDP (Packet Data Protocol), l'encapsulation consiste ainsi à placer une unité de protocole A dans une unité de protocole B sans que ce dernier ne se préoccupe du format des données transportées.

I.2.2.2.3-La gestion d'itinérance :

La gestion de l'itinérance reprend les principes du réseau GSM avec le regroupement de cellules en zones. Le terminal GPRS peut se trouver dans trois modes :

- Etat de « repos », le mobile est éteint.
- Etat de « surveillance », le mobile est localisé au niveau de la zone de routage.

Le mobile peut être appelé par le SGSN.

- Etat « Prat », le mobile est localisé au niveau de la cellule. Le mobile peut recevoir des informations ; dans cet état le terminal est localisable à la cellule près.

Une zone de routage est un regroupement de cellules (cellules réseau GSM).

En état de « surveillance » puis de « Prat », le terminal ne monopolise pas de canal radio s'il n'y a pas de transmission ou de réception de données. La base de données HLR - en communiquant avec le module SGSN – gère les identités des abonnés en ajoutant de nouveaux éléments par rapport au mode GSM comme le protocole réseau utilise ou le terminal acquis.

I.2.2.2.4 -La gestion des sessions :

Un mobile GPRS peut gérer différents protocoles réseaux; de même usage peut ouvrir plusieurs sessions pour accéder à plusieurs services simultanément sur un même terminal.

Le réseau GPRS définit la notion de « contexte PDP » où sont « enregistrées» l'ensemble des données relatives à une session stockée dans le mobile, le SGSN ou le GGSN. Un contexte PDP contient ainsi :

- Le type de réseau utilise (X.25, IP ...)
- L'adresse du terminal retenue
- L'adresse IP du SGSN gérant la zone où se trouve l'individu
- Le point d'accès au service
- La qualité de service négociée

Ainsi lorsque l'abonné au moyen de son mobile appelle plusieurs services, plusieurs sessions sont générées créant plusieurs environnements PDP.

L'environnement PDP pourra titre crée par le réseau (pour des données émanant de l'extérieur à destination d'un abonne) ou par le terminal (pour des données émanant de l'abonne vers l'extérieur ou vers un autre abonne).

I.2.3-Le standard EDGE (2.75G):

Le GPRS permet déjà, en plus de l'utilisation de la commutation par paquet, d'augmenter les débits. Cependant, en pratique le débit atteint se situe le plus souvent autour de 50 kbit/s. L'évolution du GSM appelée Enhanced Data for GSM Evolution (EDGE) est défini comme la 2.75G, son objectif est donc, comme son l'indique, d'augmenter les débits de transmission sur la voie radio.

I.2.3.1-Présentation d'EDGE:

L'une des solutions pour augmenter le débit est l'utilisation d'une modulation avec un plus grand nombre d'états de phase pour faire passer plus de débit par symbole et qui occupe le même gabarit spectral que la GMSK, c'est le principe de l'EDGE qui utilise une modulation 8-PSK véhiculant 3 bits par symbole alors que la modulation GMSK ne transmet qu'un seul bit par symbole. Le débit est alors triplé.

L'EDGE peut être appliqué pour la transmission de la voix et des données. Le couplage de l'EDGE et du GPRS s'appelle E-GPRS (Enhanced GPRS) qui reprend les mêmes principes que GPRS avec :

- La définition de nouveaux schémas de modulation et de codage.
- Une couche RLC/MAC plus sophistiquée introduisant le concept de l'adaptation dynamique de lien.

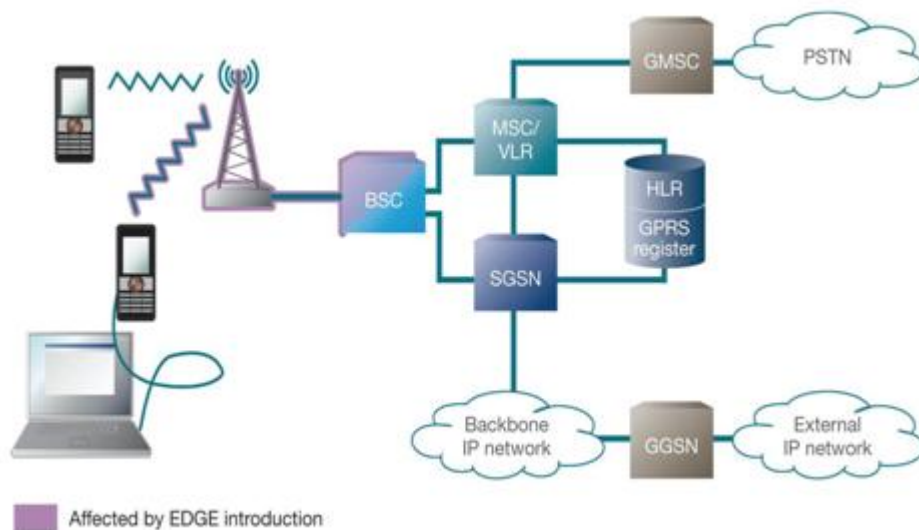


Figure I.10 : Les entités du réseau affectées par « introduction du EDGE »

Pour que les cellules disposent de l'EDGE, les BTS subissent un changement matériel qui consiste à l'ajout d'un modulateur/démodulateur 8-PSK et expansions logiciels pour le réseau. Les terminaux suivent aussi l'évolution, ils seront aussi munis d'un modulateur/démodulateur 8-PSK.

I.2.3.2-Modulation 8-PSK:

I.2.3.2.1-Principe de la 8-PSK « classique »:

Avec la 8-PSK classique, on utilise 8 symboles complexes équi-répartis sur le cercle unité donc séparés par un angle de $\pi/4$. Un symbole, correspondant à une séquence de 3 bits, est représenté par une même fréquence mais une phase différente.

Sur le plan complexe, ces symboles s'écrivent : $e^{jk\pi/4}$, $k=0$ à 7 .

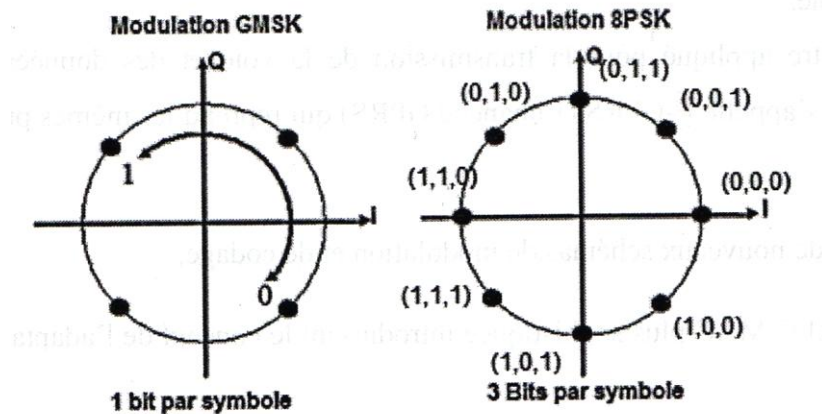


Figure I.11: Modulation GMSK et 8-PSK.

Un état de phase représente un symbole qui correspond à 3bits. La correspondance entre les symboles et les bits se fait suivant le codage de Gray, selon lequel chaque symbole voisin ne diffère que d'un bit.

L'inconvénient de cette modulation vient du fait que d'un symbole à un autre, le signal peut passer par l'origine du plan complexe, l'enveloppe du symbole est alors momentanément nulle. Les variations importantes de l'enveloppe imposent de fortes contraintes sur la plage de linéarité de l'amplificateur de puissance.

I.2.3.2.2-Modulation 8-PSK utilisée dans l'EDGE:

La modulation 8-PSK utilisée dans l'EDGE est un peu modifiée. On ajoute de nouveaux états de phase dans la constellation pour éviter tous les passages par l'origine entre deux états de phase. Les nouveaux états sont obtenus par décalage de $\pi/8$ des précédents.

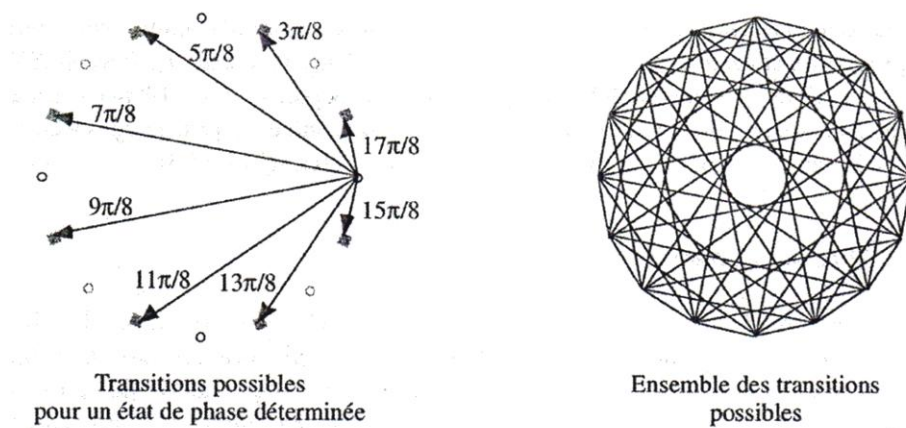


Figure I.12: Transitions possibles par les états de phases.

Au final, la modulation utilise 16 symboles complexes équi-répartis sur le cercle unité qui s'écrivent : $e^{jk\pi/4}$, et $e^{j(k\pi/4+\pi/8)}$, $k=0$ à 7.

Mais même si on dispose de 16 symboles pour coder les séquences de 3 bits, seulement 8 transitions de phase sont possibles pour un état de phase donné. Grace à ce principe, le passage par l'origine du plan complexe est évité.

I.2.3.3-Schémas de modulation MCS (Modulation and coding Schemes):

E-GPRS reprend les mêmes principes que GPRS, mais il introduit une extension de la notion de schéma de codage du canal : il définit 9 schémas de modulation et de codage (MCS : Modulation and Coding Schemes) pour offrir différents débits et différents niveaux de protection des données contre les erreurs de transmission :

- ❖ MCS-1 à MCS-4 : utilisation de l'ancienne modulation GMSK,
- ❖ MCS-5 à MCS-9 : utilisation de nouvelle modulation 8-PSK.

Schéma de modulation et codage	Type de modulation	Débit nominal (Kbits/s)	Famille
MCS-1	GMSK	8,8	C
MCS-2	GMSK	11,2	B
MCS-3	GMSK	14,8	A
MCS-4	GMSK	17,6	C

MCS-5	8-PSK	22,4	B
MCS-6	8-PSK	29,6	A
MCS-7	8-PSK	44 ,8	B
MCS-8	8-PSK	54 ,4	A
MCS-9	8-PSK	59,2	A

Tableau I.2 : Les schémas de modulation et de codage dans l'EDGE.

Pour un canal physique, le débit varie de 8.8 à 59.2 Kbits/s. Avec l'EDGE, le débit maximal est obtenu en utilisant 8time-slots d'une trame TDMA et le schéma MCS-9, ce qui nous donne : $8 \times 59.2 = 473.6 \text{ Kbit/s}$. En pratique, le débit est d'environ 170 Kbit/s.

Pour les schémas de codage MCS-1 à MCS-6, un ensemble de 4 bursts transporte un seul bloc MAC-RLC. En revanche, les schémas de codage MCS-7 à MCS-9 permettent le transport de deux blocs RLC-MAC dans 4 burst.

Les différents schémas sont regroupés en 3 familles : A, B et C. Pour chaque famille, les tailles des blocs de données sont des multiples de la même valeur. Ce regroupement permet de simplifier l'adaptation dynamique de lien.

I.3-La troisième génération :

I.3.1- Présentation de l'UMTS :

Il existe plusieurs technologies 3G dans le monde. Chacune d'elles suivent les recommandations IMT2000. Suivant les continents, la norme utilisée est différentes : Europe : UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) Amérique : CDMA-2000 Japon et Corée : W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) Chine : TD-SCDMA Ces normes permettent de transporter les données sans-fil à haut débit sur la même connexion. La particularité des technologies 3G est d'avoir un réseau cœur IP. L'UMTS est donc 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.

I.3.2- Plan de fréquences :

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

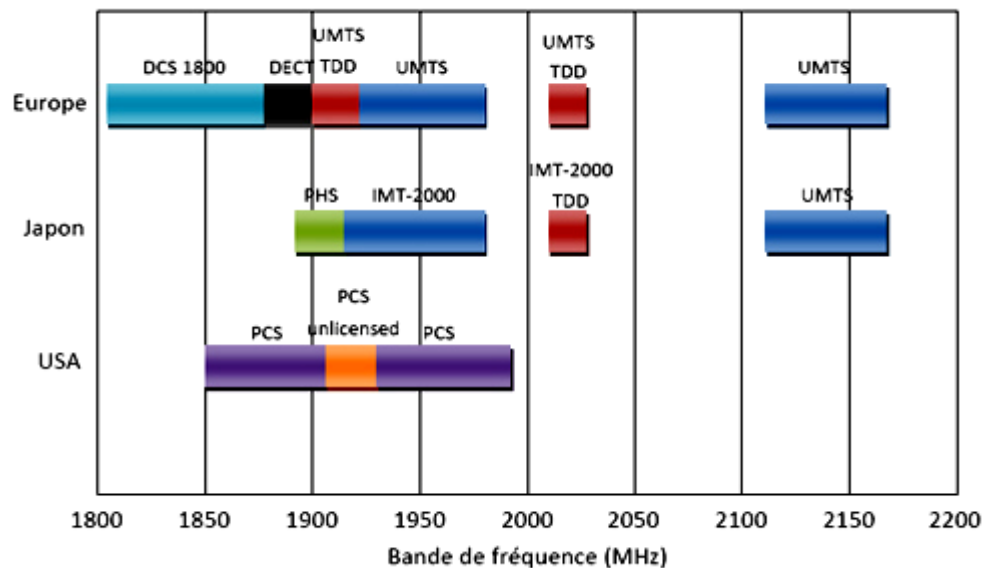


Figure I.13 : Plan de fréquences pour la 3G

I.3.3- Hiérarchie des cellules de l'UMTS :

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

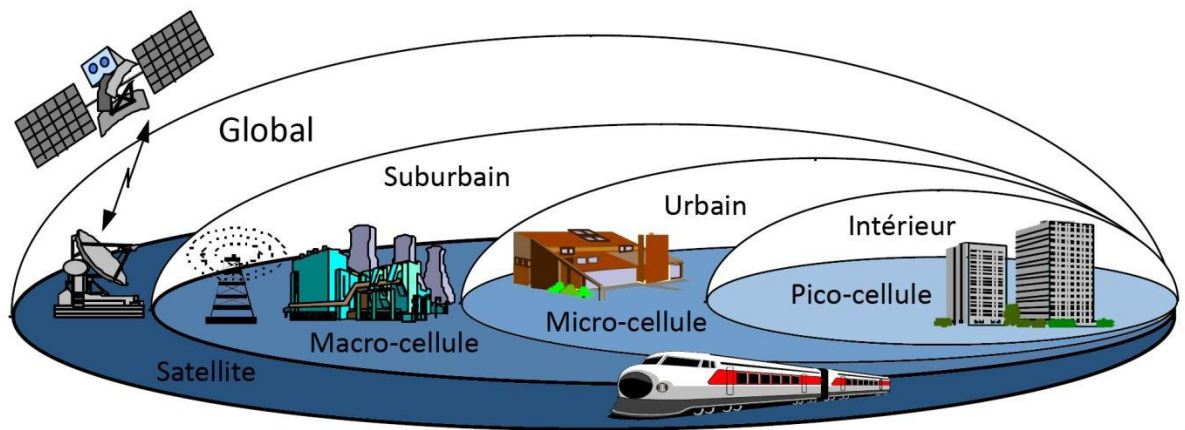


Figure I.14 : Hiérarchie des cellules de l'UMTS

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

I.3.4- Les services de l'UMTS :

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

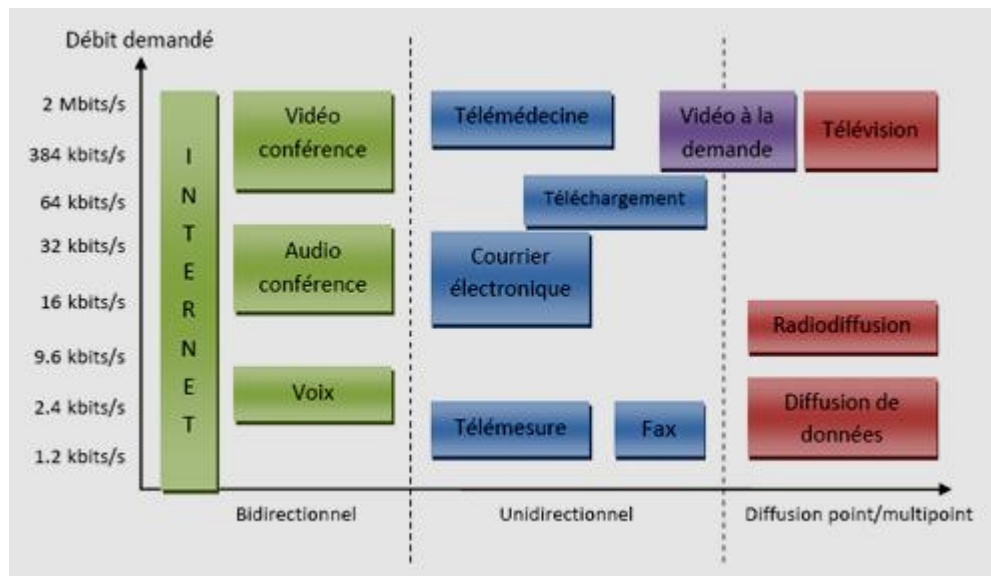


Figure I.15 : Les besoins en débit des services de l'UMTS

I.3.5- Le réseau UMTS :

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.

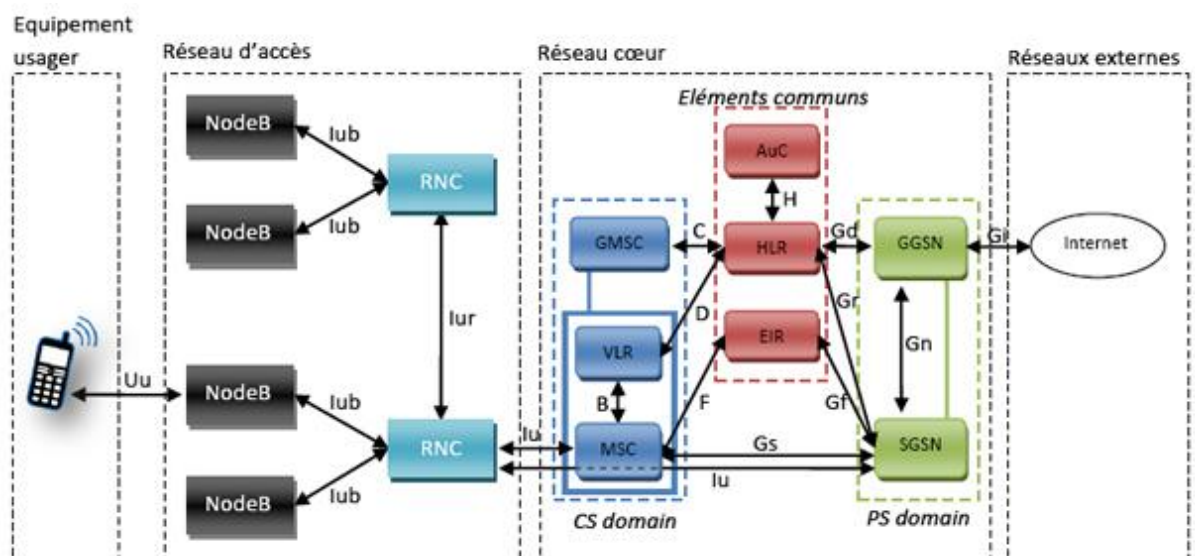


Figure I.16 : Architecture globale du réseau UMTS

I.3.5.1- Réseau d'accès UTRAN :

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement

usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions:

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

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

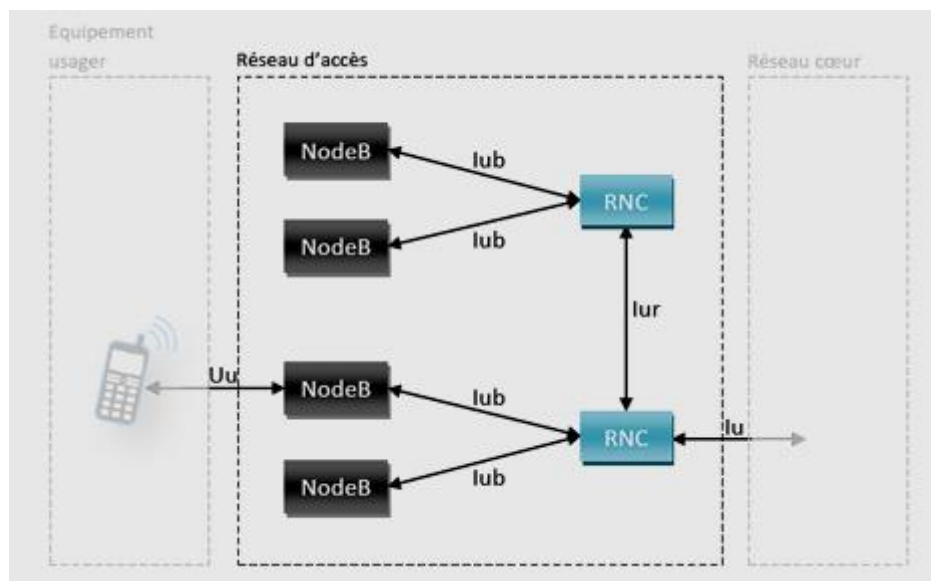


Figure I.17 : Architecture du réseau d'accès

I.3.5.1.1-Le Node B :

La principale fonction du Node B (Ou Station De Base) est de gérer la couche physique de l'interface air .il s'agit principalement du codage du canal, de l'entrelacement, de l'adaptation du débit et de l'étalement .le Node B supporte également quelques fonctions de gestion des

ressources radio comme le contrôle de puissance en boucle fermée .le Node B est l'équivalent de la BTS (Base Transmitter Station) en GSM.

Le terme de Node B a été adopté de façon temporaire au début du processus de normalisation puis il n'a jamais été remplacé.

I.3.5.1.2-Les interfaces de communication :

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau coeur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

I.3.5.1.3-RNC :

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau coeur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes).

Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Exemple :

Lorsqu'une communication est établie par un équipement usager, une connexion de type RRC (Radio Resource Control) est établie entre celui-ci et un RNC du réseau d'accès UTRAN. Dans ce cas de figure, le RNC concerné est appelé SRNC (Serving RNC). Si l'utilisateur se déplace dans le réseau, il est éventuellement amené à changer de cellule en cours de communication. Il est d'ailleurs possible que l'utilisateur change de NodeB vers un NodeB ne dépendant plus de son SRNC. Le RNC en charge de ces cellules distantes est appelé « controlling RNC ». Le RNC distant est appelé « drift RNC » du point de vue RRC. Le « drift RNC » a pour fonction de router les données échangées entre le SRNC et l'équipement usager.

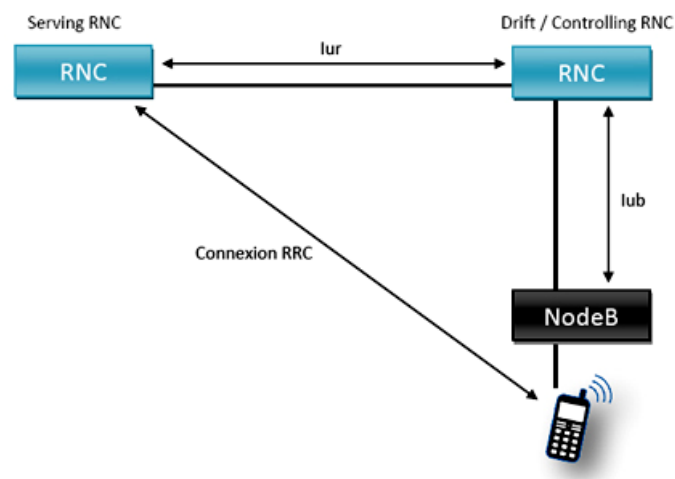


Figure I.18 : Représentation graphique de l'exemple de communication

I.3.5.2- Réseau cœur :

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

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

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ces domaines peuvent être considérés comme des domaines de service. Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service. Le schéma représente l'architecture du réseau cœur de l'UMTS :

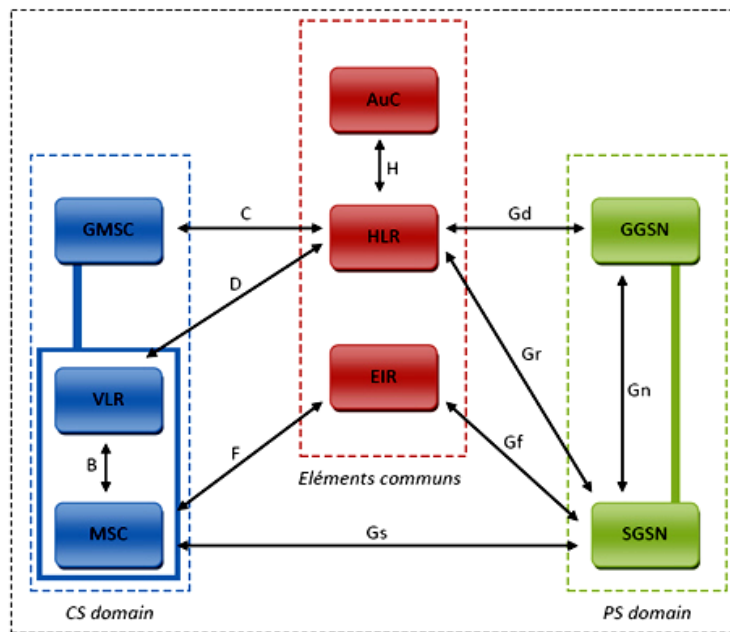


Figure I.19 : Architecture du réseau cœur de l'UMTS

I.3.5.3- Eléments communs :

Le groupe des éléments communs est composé de plusieurs modules :

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

I.3.5.4-Le domaine CS :

Le domaine CS est composé de plusieurs modules :

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

I.3.5.5-Le domaine PS :

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

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

I.4-Discussion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le réseau de deuxième génération GSM telle que l'architecture du réseau GSM, les zones géographiques, les bandes allouées au système, les méthodes d'accès multiples utilisées, Ensuite nous avons défini les principes de base du GPRS/EDGE ainsi que les modifications effectuées entre ces deux technologies.

Enfin nous avons présenté le réseau de troisième génération UMTS telle que l'architecture de système UMTS, les éléments logiques de réseau et les interfaces utilisés.

Dans le chapitre qui suit, nous allons faire une étude sur l'interface radio W-CDMA.

Chapitre II

L'interface radio WCDMA

II. 1-Préambule :

Pour aller plus loin et proposer des services dépassant le cadre de la consultation WAP ou de la réception d'emails et se rapprocher de ceux utilisés sur les ordinateurs, il a fallu utiliser des architectures distinctes des modes de transmission antérieurs. C'est ce qu'on appelle la 3G, ou réseau de troisième génération.

La 3G repose sur la technologie W-CDMA et aboutit à la norme UMTS. Dans ce chapitre nous allons présenter des notions de base sur le W-CDMA, ensuite nous allons étudier la couche physique et les protocoles de l'interface radio.

II.2- Le WCDMA et les interfaces de deuxième génération:

Nous allons maintenant nous intéresser aux principales différences qui existent entre les interfaces des systèmes de deuxième et de troisième génération (2G et 3G). Le GSM et l'IS-95 (la norme des systèmes CDMA One) sont les deux interfaces air de deuxième génération que nous allons considérer ici. Il en existe bien évidemment d'autres comme le PDC, au Japon, et l'US-TDMA, en Amérique du Nord. Ces deux dernières sont fondées sur une technologie TDMA et elles sont plus proches du GSM que de l'IS-95. Rappelons que ces systèmes de deuxième génération ont été conçus pour des services voix.

Pour mieux comprendre les origines des différences entre les systèmes 2G et 3G, il est important de connaître les nouveaux besoins des systèmes de troisième génération :

- hauts débits (allant jusqu'à 2 Mbit/s).
- débit variable (bande passante à la demande).
- multiplexage de services ayant une qualité de service différente (voix, vidéo, données, etc.) sur une même connexion.
- délai (faible pour les services temps réel, plus important et variable (best effort) pour certains services données).
- qualité (d'un taux d'erreur trame de 10% à un taux d'erreur bit de 10^{-6}).
- co-existence des systèmes 2G et 3G.
- handover inter-systèmes (pour des raisons de couverture ou de partage de charge).
- support de trafics Uplink et Downlink asymétriques.
- forte efficacité spectrale.
- co-existence des modes FDD et TDD.

Les principales différences entre les interfaces air WCDMA et GSM sont présentées dans le Tableau II.1. Ces différences reflètent bien les nouveaux besoins des systèmes de troisième génération. Par exemple, la plus grande bande passante du WCDMA (5 MHz) est nécessaire pour supporter des débits plus importants. La diversité de transmission a été adoptée par le WCDMA afin d'augmenter la capacité Downlink et d'offrir ainsi des capacités Downlink et Uplink asymétriques. Notons que cette diversité de transmission n'est pas supportée par les systèmes de deuxième génération. La transmission simultanée de plusieurs services caractérisés par différents débits et qualités de service nécessite la mise en place de nouveaux algorithmes de gestion des ressources radio afin de garantir la qualité de service globale et de maximiser le débit total.

Le WCDMA et l'IS-95 utilisent tous deux la méthode d'accès multiple par répartition de code au moyen d'une modulation par séquence directe (DS-CDMA, Direct Sequence Code Division Multiple Access). Le plus fort débit chip, qui correspond au débit de la séquence de codage du WCDMA, permet une meilleure efficacité de la diversité de trajets multiples que le débit chip de 1,2288 Mcp/s de l'IS-95, en particulier pour les cellules de petite taille en environnement urbain. Notons tout de même qu'une meilleure diversité de trajets multiples améliore la couverture radio et que l'utilisation d'un débit chip élevé permet de réaliser des gains en transmission, surtout pour les services hauts débit.

	WCDMA	GSM	IS-95
Espacement entre les porteuses	5MHZ	200KHZ	1 ,25MHZ
Fréquence de control de puissance	1500HZ	2HZ (ou moins)	Uplink : 800HZ Downlink : lent
Débit chip (Débit de la séquence de codage)	3.84Mcp/s		1.2288Mcp/s
Synchronisation des stations de base	Pas nécessaire	Nécessaire	Nécessaire
Transmission de Données	En fonction de la charge	En fonction du nombre de time slot disponible	Mode circuit

Diversité de transmission Downlink	Support augmente la capacité Downlink	Non supportée par la norme peut être implémentée	Non supportée par la norme
---	---------------------------------------	--	----------------------------

Tableau II.1 principales différences entre les interfaces air WCDMA, GSM et IS-95

Le WCDMA réalise un contrôle de puissance sur les sens Uplink et Downlink à une fréquence de 1500 Hz. La fréquence à laquelle ce contrôle de puissance est réalisé en IS-95 est nettement plus faible, surtout pour le sens Downlink. Le fait de réajuster la puissance sur le sens Downlink très fréquemment permet d'augmenter les performances de la liaison ainsi que la capacité totale Downlink, mais cela nécessite de nouvelles fonctionnalités au sein du mobile, telles que l'estimation du rapport signal à interférence (SIR, Signal to Interference Ratio) et la mise en place d'un contrôle de puissance en boucle externe, ce qui n'est pas nécessaire pour les mobiles IS-95.

Les systèmes IS-95 ont été conçus principalement pour des réseaux macro-cellulaires. Les stations de base de tels réseaux sont généralement installées sur des mâts ou sur les toits des meubles où les signaux du système GPS (Global Positioning System) sont facilement reçus. Ces stations de base doivent en effet être synchronisées entre elles et cette synchronisation est généralement assurée par le système GPS. Cela devient problématique pour les micro-cellules et les cellules indoor qui, selon leur emplacement, peuvent ne pas recevoir les signaux GPS. Le CDMA, quant à lui, a été conçu pour fonctionner sans synchronisation. Ce fonctionnement asynchrone des stations de base rend par conséquent le mécanisme D'handover légèrement différent de celui employé par l'IS-95.

Les handovers inter-fréquences est une autre spécificité du WCDMA, développée pour augmenter l'utilisation de plusieurs porteuses au sein de la même station de base. Dans la norme IS-95, les mesures permettant le handover inter-fréquences n'ont pas été définies, ce qui rend plus difficile la mise en place d'un tel fonctionnement.

Comme nous pouvons le remarquer, il existe de nombreuses différences entre ces trois interfaces air, mais n'oublions pas que le développement des interfaces air de troisième génération s'est appuyé sur l'expérience acquise grâce à celles de deuxième génération. Rappelons également qu'une bonne compréhension de l'interface air WCDMA, de la couche

physique jusqu'à la planification radio et à l'optimisation des performances, est indispensable pour bien appréhender la globalité des réseaux de troisième génération.

II.2.1- Les réseaux cœur :

Les réseaux d'accès WCDMA peuvent se connecter principalement à trois types de réseaux cœur. Les systèmes de deuxième génération s'appuient soit sur un réseau cœur GSM, soit sur un réseau de type IS-41. Ces deux derniers sont évidemment pressentis pour les systèmes de troisième génération, mais une alternative existe : il s'agit d'un réseau GPRS basé sur un réseau cœur tout IP (full-IP). Les principales possibilités de raccordements entre réseau cœur et interfaces air sont présentées dans la Figure II.1. D'autres possibilités sont envisageables dont certaines pourraient faire leur apparition au sein des organismes de normalisation.

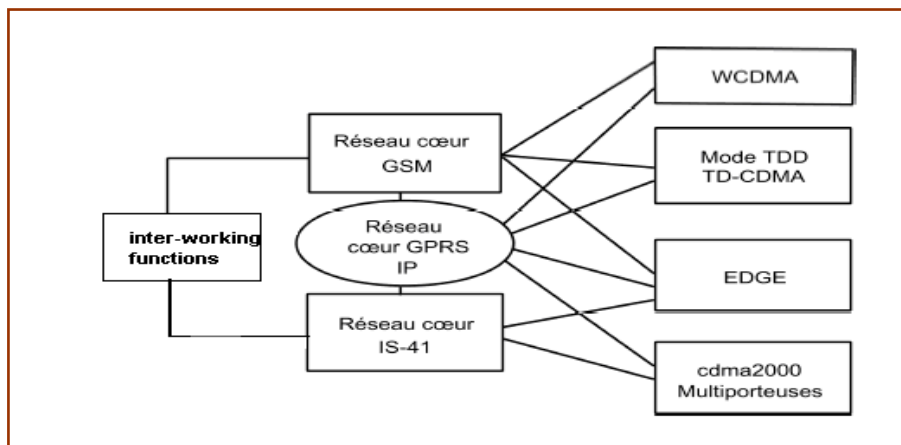


Figure II.1 Relations Réseau cœur et Interfaces air de troisième génération

Les besoins du marché devraient déterminer les combinaisons qui seront utilisées par les opérateurs. Il est prévisible que ces derniers conserveront leur réseau cœur actuel pour les services voix en leur ajoutant des fonctionnalités de traitement et de transport pour les nouveaux services données. A moyen terme, il sera possible d'utiliser un seul réseau cœur IP pour l'ensemble de ces services.

A cause des différentes technologies et fréquences utilisées à travers le monde, le roaming nécessitera des accords spécifiques entre opérateurs ainsi que l'utilisation de terminaux multi modes et multi bandes et de passerelles nationales et internationales entre les différents réseaux cœur. Cependant, pour l'utilisateur final, ces accords seront transparents et les terminaux multi modes et multi bandes devraient apparaître pour les clients qui sont prêts à payer le prix fort pour un service de télécommunications global et mondial.

II.3- Généralité sur le mode CDMA :**II.3.1-Définitions :**

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. Les transmissions sont numérisées, dites à étalement de spectre. L'étalement du spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire.

Les avantages :

- Efficacité spectrale ;
- Sécurité de la transmission : le signal codé est détectable comme étant du bruit ;
- Handover ;
- Gestion du plan de fréquences ;
- Concentration de trafic.

II.3.2-Etalement de spectre ("spread spectrum") :

L'idée est de transformer un signal en bande relativement étroite en un signal qui a l'apparence d'un bruit sur une bande large.

Pour transmettre un débit d'information donné, deux paramètres sont ajustables : la largeur spectrale et le rapport de puissance signal/bruit (S/N) en application de l'équation de C. Shannon:

Capacité maximum en bit/s = $w \log_2 (1+S/N) = 1.44 \ln (1+S/N)$ où S/N: puissance du signal/puissance du bruit.

Si l'on étale le signal sur une large bande en conservant la puissance totale, on peut tolérer un rapport S/N faible : exemple 10 kbps avec $S/N=0.01 \Rightarrow w = 690 \text{ kHz}$ ($\sim 0,69 \cdot C \cdot N/S$)

Le principe en D.S.S.S consiste à remplacer chaque bit 1 par une séquence-code à M 'chips' et chaque bit '0' par la séquence complémentaire. Ces séquences-codes sont judicieusement choisies pour leurs propriétés mathématiques. Comme le signal obtenu contient beaucoup plus de transitions (changement de chip) que le signal-message original

contient de transitions (changement de bit), la bande spectrale est élargie dans un rapport égal au nombre de chips.

Il existe d'autres méthodes : 'saut de fréquence' (frequency hopping), où la fréquence de la porteuse est changée M fois pendant la durée d'un bit de message. On obtient donc un spectre étalé en modulant le signal avec une séquence connue sous le nom de séquence pseudo aléatoire ayant une apparence de bruit, en remplacement de chaque bit de message. Le signal étalé (spectralement) doit apparaître comme du bruit, en particulier pour les autres transmissions éventuelles utilisant le même spectre étalé. Ceci permet aussi de cacher (crypter) le message d'où son utilisation ancienne par les militaires.

En réception on calcule la corrélation du signal avec une réplique du code émetteur (la séquence pseudo-aléatoire : *pseudo noise*), ce qui permet de régénérer les bits de message selon sa valeur : positive ($\Rightarrow +1$), négative ($\Rightarrow -1$) ou nulle (mauvais code). Voir exemple ci-dessous.

L'étalement du spectre conduit à diviser la densité de puissance spectrale (en Watts/Hz) Il est typiquement entre 10 et 30 dB (rapports de 10 à 1000). La puissance rayonnée est donc étalée, ainsi qu'un bruit en bande étroite ou une interférence (un autre utilisateur).

II.3.3-Principe de l'accès multiple avec codes :

Il existe plusieurs variantes : on décrit ci-dessous l'étalement par séquence directe (Direct Sequence Spread Spectrum).

- Le message A de l'émetteur A , représentée par une séquence de $+1$, -1 traduisant la séquence de bits 1 et 0 logiques, est multiplié par un code: une séquence de $+1$ et -1 les « Chips» judicieusement choisie, et dont les transitions sont m fois plus fréquentes. Idem pour un émetteur du message B : message multiplié par un code B .
- Les séquences produites $A * C_A$ et $B * C_B$ sont ajoutées et transmises.
- A la réception, le destinataire du message A multiplie la séquence reçue par le code C_A , idem pour le destinataire du message B .

Si les codes sont bien choisis, sur la durée d'un bit, (donc de m chips), la moyenne de $C_A.C_A$ et de $C_B.C_B$ est égale à $m/2$, tandis que $C_A.C_B$ a une moyenne nulle : Les codes C_A

et CB sont dits « orthogonaux » (Somme des produits des éléments correspondants [=produit scalaire]=0).

II.4.1-Introduction au mode WCDMA:

Le WCDMA Dans les différents forums de normalisation, la technique WCDMA s'est révélée être celle qui a été adaptée le plus largement pour l'UMTS. Le 3GPP (3rd Generation Partnership Project) est en charge de la réalisation de sa spécification. Il regroupe de nombreux organismes de normalisation tant en Europe que dans le reste du monde (Japon, Corée, Chine et Etats-Unis). Au sein du GPP, le WCDMA est appelé UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) FDD (Frequency Division Duplex) et TDD (Time Division Duplex), le terme WCDMA étant employé pour couvrir à la fois le mode FDD et TDD.

II.4.2-Principaux paramètres de WCDMA :

Présentons maintenant brièvement les principaux paramètres du WCDMA :

- Le WCDMA est un mode d'accès multiple par répartition de code utilisant une technique d'étalement par séquence directe (DS-WCDMA, Direct Sequence Wideband Code Division with Multiple Access). Cela signifie que les bits correspondant aux données utilisateur sont étalés sur une large bande passante en multipliant ces données utilisateur par une séquence pseudo aléatoire de bits appelées (chips) provenant des codes d'étalements CDMA. Afin de pouvoir supporter des débits très élevés (jusqu'à 2Mbit/s), le WCDMA utilise des transmissions à facteur d'étalement variable et à multiples codes. Ce système est illustré dans la Figure II. 5.
- Le débit chips (débit binaire de la séquence de code) de 3.84 Mc /s donne une bande passante par porteuse de l'ordre de 5MHz. La large bande passante par porteuse de WCDMA permet de supporter des débits utilisateur importants. Elle a en outre un impact bénéfique sur les performances du système. En fonction de licence qui lui a été attribuée, l'opérateur peut utiliser plusieurs porteuses pour augmenter la capacité de son réseau. L'espacement des porteuses peut être choisi par pas de 200KHz, entre 4,4 et 5MHz, selon le niveau d'interférences entre les porteuses.
- Le WCDMA permet de supporter des débits utilisateur variables, En d'autre terme, il est possible de proposer aux utilisateurs de la bande passante à la demande BoD (Bandwidth on Demand). A chaque utilisateur est attribuée une trame d'une durée de 10ms, durant laquelle le débit est constant. Cependant, ce débit peut varier d'une

trame à l'autre. La Figure II.2 présente également cette fonctionnalité. Cette allocation dynamique de la capacité est contrôlée par le réseau à fin d'obtenir un débit optimal pour les services paquet.

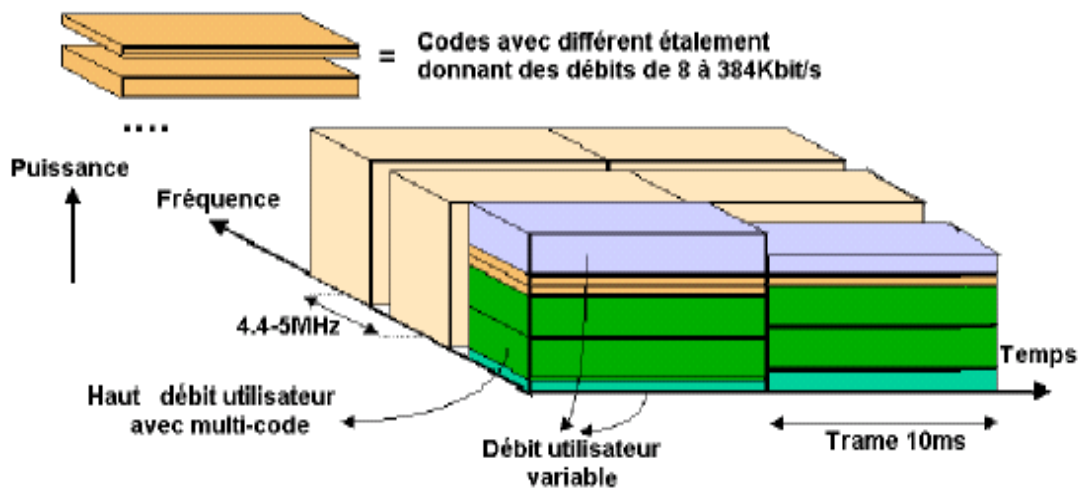


Figure II.2 : Allocation de la bande passante en WCDMA dans l'espace temps-fréquence-code

Le WCDMA possède deux modes de fonctionnement: le mode FDD (Frequency Division Duplex) et le mode TDD (Time Division Duplex). Dans le mode FDD, deux bandes passantes de 5MHz sont utilisées, l'une pour le sens montant (Uplink), l'autre pour le sens descendant (Downlink) alors que dans le mode TDD, une seule bande passante de 5 MHz est utilisée pour les deux sens, Le sens montant et le sens descendant.

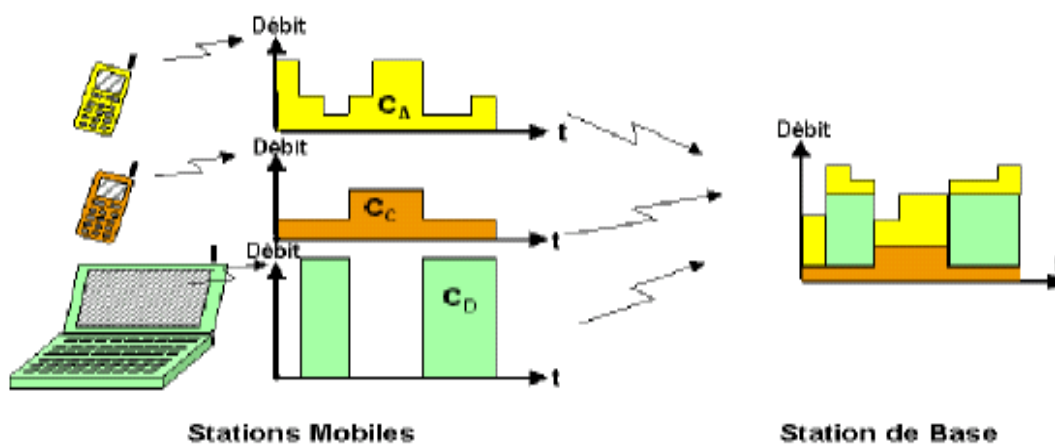


Figure II.3: Allocation dynamique des ressources

- Contrairement à l'IS-95, le WCDMA ne nécessite pas de synchronisation des stations de base. Il n'y a donc pas besoin de référence globale de temps tel que le GPS. Le déploiement des stations de base micro ou indoor en est donc facilité.
- L'interface air WCDMA a été conçue de telle façon que certaines fonctionnalités avancées du CDMA, comme la détection Multi-Utilisateurs et les antennes adaptatives, peuvent être déployées par l'opérateur afin d'accroître la capacité et /ou la couverture de son réseau.
- Le WCDMA a été conçu afin qu'il puisse être déployé conjointement avec le GSM. Les handover entre le GSM et le WCDMA sont possibles et l'introduction du WCDMA pourra ainsi se faire progressivement.

II.4.3-Étalement et désétalement :

La Figure II.4 décrit le fonctionnement de base de l'étalement et du désétalement d'un système DS-CDMA.

On a pris par exemple, un signal initial BPSK (Binary Phase Shift Keying) de fréquence R . ce signal est donc composé d'une séquence de bits pouvant prendre les deux valeurs suivantes : «+1» et « -1 ». La méthode d'étalement consiste, dans cet exemple, à multiplier chaque bit du signal initial par une séquence de huit bits, chacun de ces huit bits étant appelé chip. Dans ce cas on a utilisé un facteur d'étalement de 8. On remarque que le signal final à l'apparence d'un signal aléatoire tout comme le code d'étalement utilisé. Ce signal large bande sera ensuite transmis sur l'interface air.

En ce qui concerne la procédure inverse, le désétalement, nous multiplions, bit par bit, le signal étalé par la même séquence de codes que nous avons utilisée précédemment pour l'étalement. Comme le montre la Figure II.4, on a retrouvé exactement le signal initial et cette opération n'introduit aucun déphasage entre le signal initial et le signal final. La multiplication de la fréquence du signal par facteur 8 engendre un étalement similaire du spectre occupé par le signal résultant. Le désétalement permet de restaurer la bande passante initiale, proportionnelle à la fréquence R du signal.

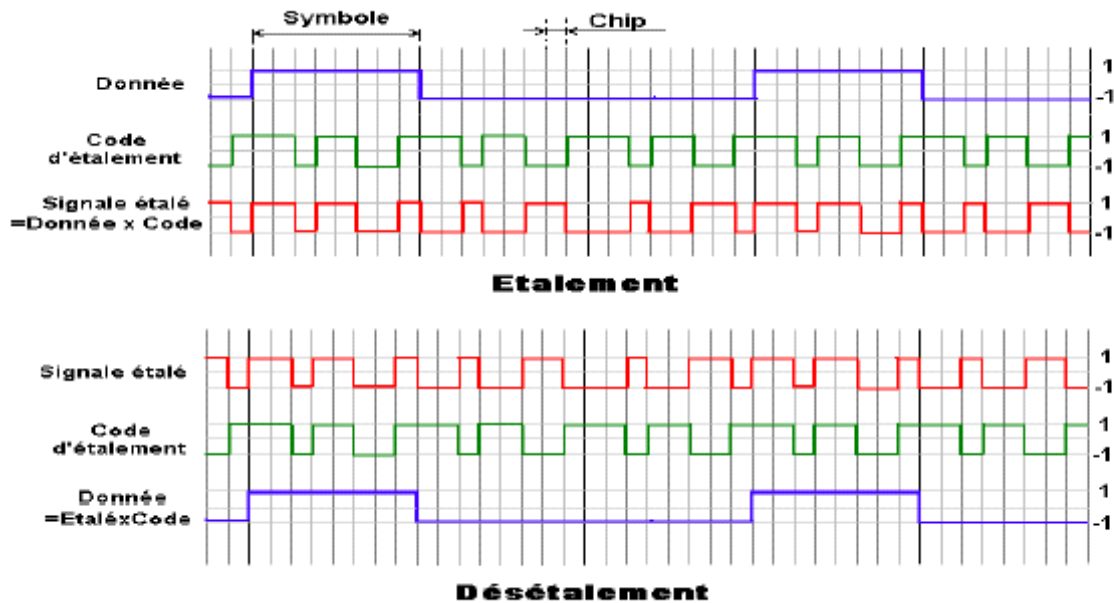


Figure II.4: Etalement et dés étalement en DS-CDMA

Le fonctionnement de base d'un récepteur à corrélation en CDMA est présenté dans la Figure II.5.

La partie supérieure de la figure montre la réception du signal attendu, c'est-à-dire le signal qui correspond au code d'étalement utilisé. Comme précédemment dans la Figure II.4 nous remarquons l'étalement parfaitement synchronisé réalisé par le code. En suite, le récepteur intègre ou plus précisément somme le produit des bits du signal reçu par ceux du code d'étalement, cela par symbole.

La partie inférieure de la figure II.5 montre l'effet du désétalement quand il est appliqué au signal d'un autre utilisateur pour lequel l'étalement a été effectué avec une autre séquence d'étalement. Le résultat de la multiplication du mauvais signal par le code d'étalement puis son intégration par le récepteur donne une suite des valeurs proches de 0.

Comme nous pouvons le remarquer, l'amplitude du signal attendu est augmentée en moyenne par facteur 8 par rapport aux autres signaux qui interfèrent. Cette méthode de détection par corrélation permet donc d'amplifier le signal attendu d'un coefficient égal au facteur d'étalement, ici 8. Cet effet est appelé gain de traitement (processing gain). C'est un des aspects fondamentaux de tous les systèmes CDMA et des autres systèmes à étalement de spectre. Ce gain de traitement donne une certaine robustesse aux systèmes CDMA face aux interférences qui sont générées par la réutilisation des mêmes porteuses sur des stations de base proches les unes des autres.

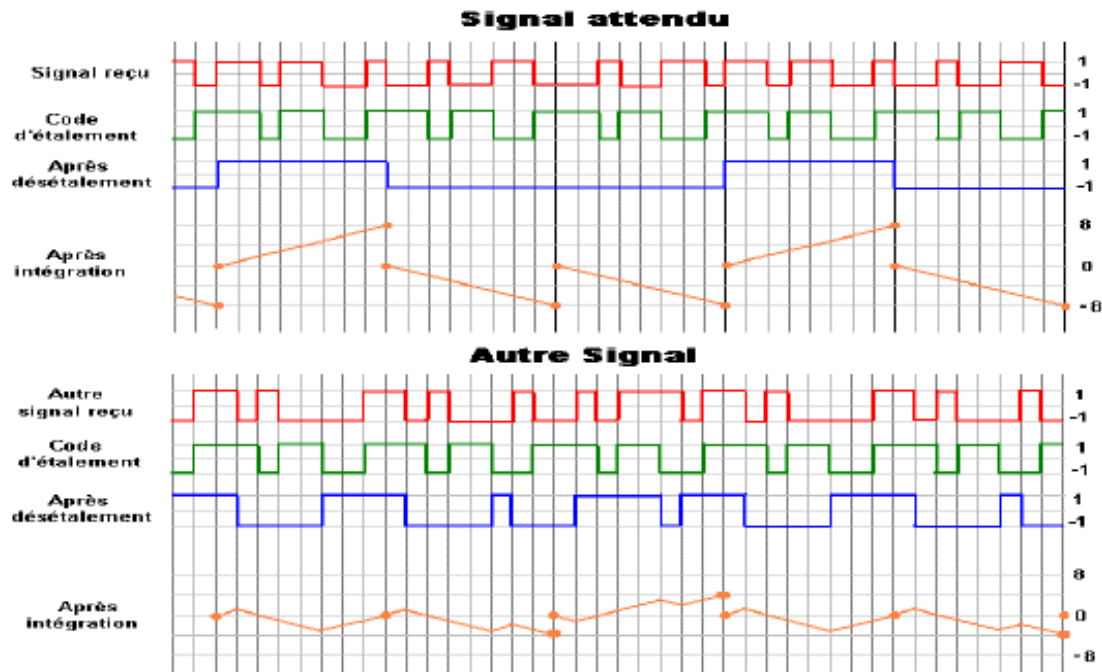


Figure II.5 Principe de corrélation du récepteur en CDMA

Prenons maintenant un exemple avec de véritables paramètres. Le service voix d'un débit de 12.2Kbit /s ce qui correspond à un gain de fonctionnement $G=25\text{dB}$,

$$\text{En effet, } G=10 \log_{10} (3.84 \text{ e }^6 / 12.2\text{e}^3) = 25\text{dB}$$

Après désétalement, la puissance du signal doit être typiquement supérieure de quelques dB à la puissance des interférences et du bruit. La densité de puissance nécessaire du signal après désétalement divisée par la densité de puissance des interférences est notée « E_b/N_0 », où E_b est l'énergie ou densité de puissance par bit et N_0 la densité de puissance des interférences et du bruit. Pour le service voix, le ratio E_b/N_0 est de l'ordre de 5dB et le ratio signal sur interférence (SIR, Signal to Interference Ratio) est par conséquent de l'ordre de -20dB (5dB moins le gain de traitement). En d'autres termes, même si la puissance du signal est inférieure de -20dB à celles des interférences et du bruit, le récepteur pourra encore détecter et récupérer le signal. Le ratio signal sur interférence est aussi noté « C/I » (Carrier-to- Interference ratio). Du fait de l'étalement et du désétalement, ce rapport C/I peut être plus faible en WCDMA par rapport aux autres systèmes GSM et IS-95. Une communication vocale de bonne qualité nécessite, par exemple en GSM, un C/I de 9 à 15dB.

En effet, un signal large bande peut se trouver sous le niveau du bruit thermique, sa détection est difficile sans en connaître sa séquence d'étalement. C'est pour cette raison que les premiers systèmes d'étalement de spectre ont été développés pour des applications militaires où la nature large bande du signal permet de le cacher sous le bruit thermique ambiant.

Remarque :

Pour une bande passante de canal donnée, nous aurons un gain de traitement plus important pour les faibles débits que pour les hauts débits. Par exemple, le gain de traitement pour un débit de 2Mb/s est inférieur à 2 ($3.84/2=1.92$ ce qui correspond à 2.8dB). Dans ce cas, la robustesse des ondes WCDMA aux interférences est clairement compromise.

Il est important de bien comprendre que ces méthodes d'étalement et désétalement n'engendrent par elles-mêmes aucune amélioration du signal. En fait, le gain de traitement provient de l'étalement de la bande passante utilisée pour la transmission.

De manière générale, les avantages du WCDMA proviennent plus des propriétés large bande des signaux quand ils sont observés au niveau du système dans sa globalité que quand ces derniers sont observés point de vue d'un seul lien radio.

- Le gain de traitement et la nature large bande du système permettent un motif unitaire de réutilisation des fréquences entre les différentes cellules, c'est-à-dire qu'une seule fréquence peut être utilisée sur tous les sites et leurs secteurs. Cette possibilité permet d'obtenir une forte efficacité spectrale.
- Le fait d'avoir plusieurs utilisateurs qui partagent la même porteuse large bande pour leurs communications fournit de la diversité en interférence, c'est-à-dire que les interférences provenant de plusieurs utilisateurs sont moyennées la capacité du système est alors plus forte que pour les autres systèmes ou c'est le niveau maximum d'interférences qui détermine la capacité.
- Toutefois, les deux points précédents nécessitent l'utilisation d'un contrôle de puissance efficace et d'un soft handover afin d'éviter que le signal d'un utilisateur ne perturbe les communications des autres utilisateurs.
- les différents trajets de propagation d'un signal radio large bande peuvent être pris en compte avec une meilleure précision que ceux d'un signal bande étroite. Il en résulte une plus forte diversité contre les évanouissements (fading) et une amélioration des performances du système.

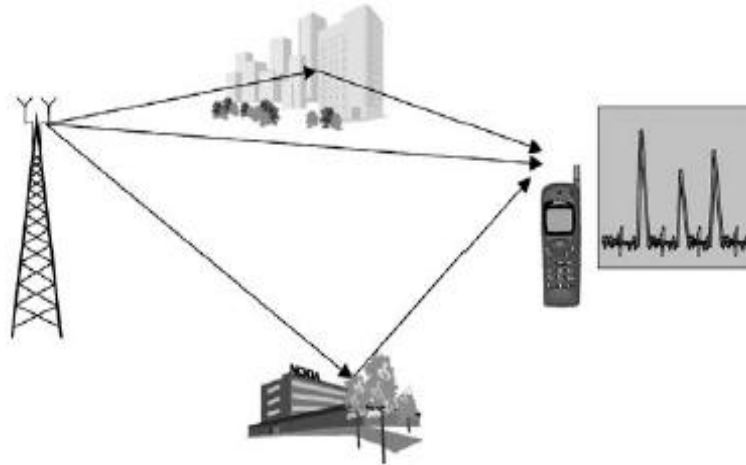


Figure II.6 : Propagations à trajets multiples

II.4.4- Canal radio à trajets multiples et récepteur Rake :

La propagation des ondes radio dans un canal est caractérisée par de multiples réflexions, diffractions et atténuations du signal. Ces phénomènes sont dus aux obstacles naturels, tels que les immeubles et les montagnes qui provoquent une propagation caractérisée par des trajets multiples. Nous allons nous intéresser aux deux principaux effets qui en résultent :

- Le signal (correspondant par exemple à un chip d'une onde WCDMA) peut mettre plus ou moins de temps à arriver au niveau du récepteur en fonction du parcours qu'il emprunte. Ainsi, la même information peut être reçue plusieurs fois par le récepteur avec une puissance plus ou moins importante (figure II.6). Il est possible de définir des profils de retard dus à ces trajets multiples. Ce délai varie généralement entre 1 à 2 μs dans les environnements urbains et suburbains, alors que des retards de 20 μs voire plus sont fréquents dans les zones vallonnées ou montagneuses. La durée d'un chip étant de 0.26 μs pour un débit de chip 3.84 Mc/s, si la différence de temps observée entre le même signal empruntant différents trajets est d'au moins 0.26 μs , le récepteur WCDMA pourra identifier et séparer ses différentes composantes afin de les combiner de façon cohérente. Cette méthode de recombinaison est appelée diversité de trajets multiples. Ce délai minimal de 0.26 μs est obtenu si la différence de longueur entre deux parcours est d'au moins 78m ($= \text{vitesse de la lumière} / \text{débit chip} = 3 \cdot 10^8 / 3.84 \text{ Mc/s}$). Avec un débit chip d'environ 1Mc/s, la différence de longueur entre deux parcours doit être au minimum de 300 m, ce qui peut être obtenu dans des cellules de petite taille. C'est pour cela que le système WCDMA permet de réaliser de la diversité de trajets multiples dans les petites cellules, là où l'IS-95 ne le permettait pas.

- A un instant donné, il est clair qu'une onde peut emprunter plusieurs parcours qui ont chacun une longueur sensiblement équivalente. Rappelons que la durée d'un chip équivaut à une distance de 78 m pour un débit chip de 3.84 Mc/s. Les ondes qui empruntent des trajets multiples ayant une différence de longueur égale à une demi-longueur d'onde (soit environ 7cm, à 2 GHz) arrivent donc quasiment au même instant au niveau du récepteur. Or, deux ondes véhiculant le même signal déphasées d'une demi-longueur ont la fâcheuse propriété de s'annuler mutuellement. Cette annulation de signal due à des trajets multiples est appelé « fast fading » et intervient lorsque le récepteur est immobile ou se déplace à faible vitesse.

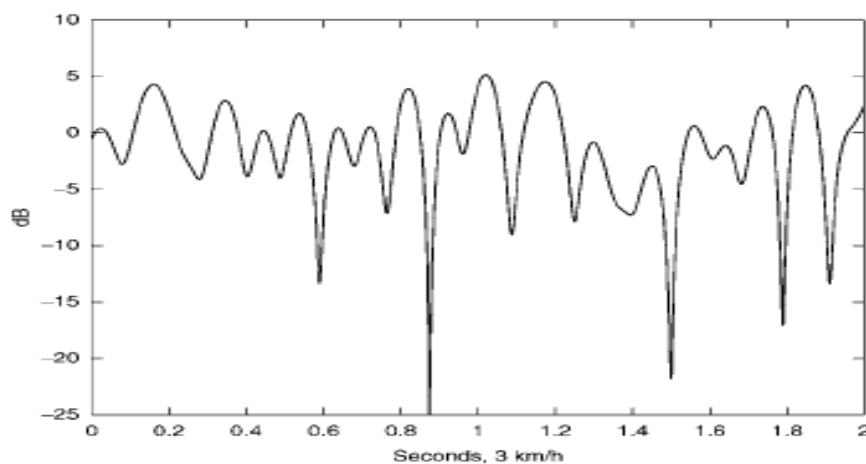


Figure II.7 : Fast fading de Rayleigh dû aux trajets multiples

La figure II.7 montre un exemple typique de fast fading. La courbe correspond à l'énergie reçue, en fonction du temps. Par un récepteur en mouvement à une vitesse de 3 km/h. Nous remarquons que la puissance du signal reçue peut chuter considérablement (-20 à -30dB) lorsque les ondes correspondant à certains trajets se trouvent en opposition de phase. Notons également que les variations de signaux dus au fast fading arrivent nettement plus fréquemment que celles dues aux modifications des profils de retard résultant des trajets multiples. Ce type d'atténuation est généralement bien défini par le modèle de distribution de Rayleigh, par conséquent, il est indispensable d'implémenter des solutions pour y remédier. Intéressons-nous à celles qu'il est possible d'introduire pour le WCDMA :

- L'énergie du signal, dispersée dans le temps, peut être recombinaée en utilisant de multiples récepteurs à corrélation. Chaque récepteur doit être paramétré afin de recevoir le signal instant où la puissance de ce dernier est maximale.

- Le contrôle de puissance rapide (fast power control) et la réception en diversité inhérente au récepteur Rake peuvent être également utilisés pour atténuer l'effet du *fading*.

- Des protocoles de codages, d'entrelacement et de retransmission peuvent aussi être utilisés afin d'ajouter de la redondance de la diversité temporelle au signal et permettre au récepteur de récupérer au mieux les données utilisateurs malgré les atténuations dues au *fading*.

Les principes suivants concernant la réception de CDMA sont fortement suggérés par la problématique de la propagation radio.

- Il est important d'identifier les intervalles de temps durant lesquels une part importante du signal arrive au niveau du récepteur et d'allouer à chacun d'entre eux un récepteur à corrélation (c'est-à-dire un doigt du récepteur Rake). La précision de la grille de mesures pour définir le profil de retard du aux trajets multiples doit être de l'ordre de la durée d'un chip (typiquement de $\frac{1}{4}$ à $\frac{1}{2}$ longueur de chip). La remise à jour de ce profil est effectuée toutes les millisecondes ou dizaine de millisecondes.

- Chaque récepteur à corrélation doit détecter les changements de phase et d'amplitude dus au fast fading et les corriger. Cette détection et cette corrélation doivent être effectuées toutes les millisecondes, voire plus fréquemment.

- Les symboles démodulés dont la phase a été éventuellement corrigée provenant des différents doigts du récepteur Rake sont envoyés ensuite au décodeur pour être combinés.

La figure II.8 illustre les deux derniers points que nous venons d'aborder, nous y avons représentés l'amplitude et la phase du symbole émis et celles de ce même symbole, reçu au niveau de trois doigts après avoir parcouru trois trajets distincts. Afin de faciliter la tâche du récepteur lors du deuxième point que nous venons de voir ci-dessus, le WCDMA utilise des symboles connus du récepteur, que l'on appelle symboles « pilot » (pilot symbols). Ces symboles sont utilisés par chaque doigt afin d'estimer l'état du canal (valeur des déphasages et atténuations). Le déphasage ainsi défini est ensuite inversé. Les symboles correspondant aux données utilisateur reçues sont alors sommés avec les symboles *pilot* modifiés afin d'annuler la rotation de la phase introduite par le canal radio. Cette méthode est appelée MRC (maximal ratio combining).

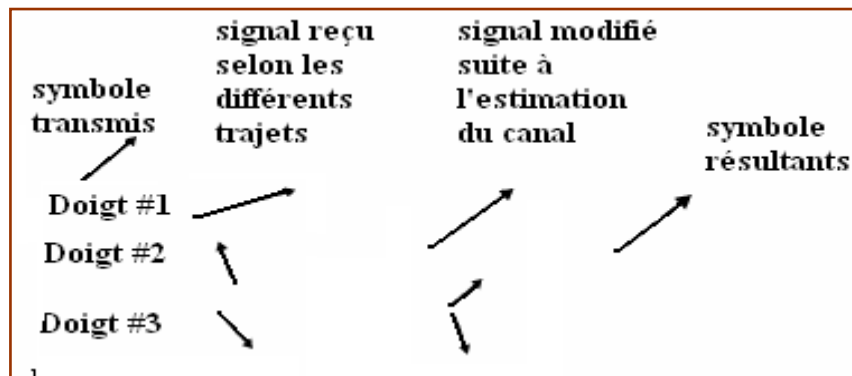


Figure II.8 : Principe de la méthode MRC utilisée par le récepteur Rake

La figure II.9 présente l'architecture fonctionnelle d'un récepteur Rake à trois doigts. Les échantillons numériques en entrée du récepteur Rake issus des premiers étages RF de la chaîne de réception. Ces échantillons sont représentés dans le plan complexe, c'est-à-dire sur les axes perpendiculaires I et Q. Au niveau de chaque doigt, le générateur de code (code generator) et le corrélateur (correlator) réalisent les tâches de désétalement et d'intégration des symboles du signal utilisateur. Le module dédié à l'estimation du canal (Channel estimator) utilise les symboles pilote afin de définir l'état du canal et d'en compenser les effets sur les symboles du signal utilisateur ainsi désétales et intégrés. Le retard entre les temps d'arrivée des symboles sur les différents doigts est ensuite compensé au niveau du module Delay Equalizer. Le dernier module de la chaîne de traitement (Rake combiner). Commun à l'ensemble des doigts, somme les symboles ainsi modifiés en provenance de tous les doigts. C'est cette opération qui apporte la diversité de trajets multiples et qui permet de lutter contre les phénomènes de fading. Passant maintenant au dernier élément du récepteur il s'agit d'un filtre adapté (matched filter) qui permet de définir le profil de retard due aux trajets multiples du canal. Ce profil mesuré qui est moyenné et mis à jour régulièrement, permet d'assigner aux différents doigts du récepteur Rake les périodes de temps durant lesquelles la puissance du signal reçue est maximale.

Les éléments constitutifs des récepteurs Rake, fonctionnant à une fréquence d'horloge proche de celle des chips, sont généralement des ASIC (Application Specific Integrated Circuit). C'est notamment le cas pour les corrélateurs, générateurs de code et filtres d'adaptés. Concernant les autres éléments qui traitent essentiellement des symboles, il est courant d'utiliser des DSP (Digital Signal Processor) notons que, bien qu'il existe de nombreuses différences entre les récepteurs Rake qui sont implémentés dans les mobiles et ceux des stations de base, tous les principes qui viennent d'être présentés restent les mêmes quelle que soit la localisation du récepteur.

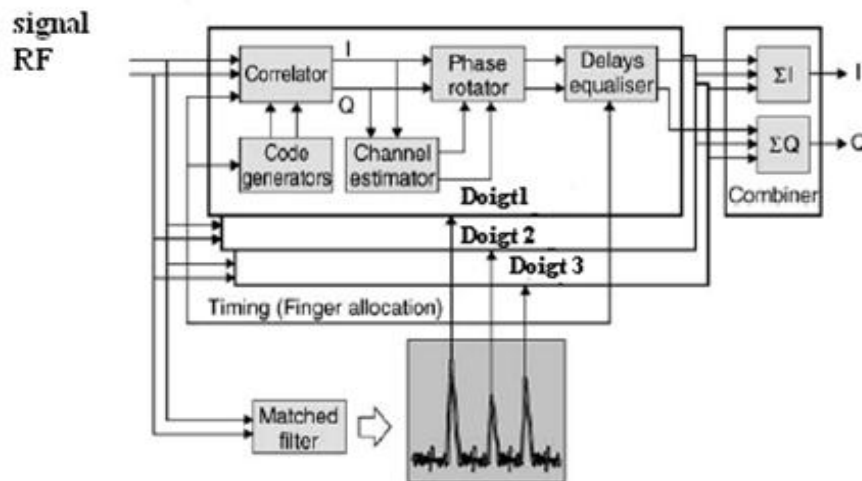


Figure II.9 : Architecture fonctionnelle d'un récepteur Rake

Notons également que la diversité de trajets multiples peut être obtenue en utilisant plusieurs antennes de réception. Cela change en rien le fonctionnement du récepteur Rake. Il est même envisageable d'utiliser le principe des doigts de réception sur plusieurs antennes. Il va de soit qu'il sera nettement plus facile d'implémenter cela au niveau des stations de base qu'au niveau des mobiles.

II.5-La couche physique de WCDMA :

La couche physique a un impact significatif sur la complexité des équipements notamment en ce qui concerne la puissance de traitement large bande de base des terminaux et des stations de base. La nature large bande de WCDMA, bien qu'elle possède des avantages dans la mise en place de solution de diversité, pose des problèmes dans son implémentation. Comme les systèmes de troisième génération sont large bande du point de vue des services, la couche physique ne peut être conçue autour d'un seul service, comme la voix, par exemple. Une grande flexibilité est nécessaire pour l'introduction future de nouveaux services. Les exigences de ces systèmes 3G ont déjà été abordées dans l'introduction de cet ouvrage.

II.5.1-Les canaux de transport et canaux physiques :

Au niveau du réseau d'accès UTRA, les données générées par les couches hautes sont transmises sur l'interface air par des canaux de transport (transport channel) qui

s'appuient sur différents canaux physiques (physical channel). La couche physique doit pouvoir supporter différents débits afin d'offrir des services de bande passante à la demande et d'être à même de multiplexer plusieurs services sur une même connexion. Dans cette section on présente la correspondance qui existe entre les canaux de transport et les canaux physiques.

Chaque canal de transport comporte un indicateur TFI (Transport Format Indicator) à chaque instant où des données sont sensées arriver en provenance des couches hautes et à destination du canal du transport. La couche physique combine les informations des indicateurs TFI des différents canaux de transport en un nouvel indicateur, l'indicateur TFCI (Transport Format Combination Indicator). L'indicateur TFCI est transmis par le canal physique de contrôle (physical control channel) afin d'informer le récepteur quels canaux de transport sont actifs au niveau de la trame courante. Il existe cependant une exception, il s'agit de l'utilisation du BTFD (Blind Transport Format Detection). Dans ce cas, l'indicateur TFCI n'est pas traité au niveau des canaux dédiés au sens descendant. Sinon, dans le cas d'un fonctionnement normal, l'indicateur TFCI est décodé par le récepteur et les indicateurs TFI correspondant au chaque canal de transport actif de la connexion sont transmis aux couches hautes. Dans la Figure II.10, deux canaux de transport s'appuient sur un seul canal physique. A la réception, les blocs de transport sont restitués aux couches hautes ainsi que des indications relatives à d'éventuelles erreurs pour chaque bloc. Les canaux de transport peuvent avoir un nombre de blocs différents et ils ne sont pas nécessairement actifs à chaque instant.

Un canal physique de contrôle et un ou plusieurs canaux physiques de données (physical data channel) peuvent être codés et multiplexés par la même entité de traitement, il en résulte ce que l'on appelle un canal de transport CCTrCh (Coded Composite Transport Channel). Il peut exister plus d'un canal CCTrCh pour une connexion donnée mais un seul canal physique de contrôle n'est transmis dans ce cas.

L'interface entre la couche physique et les couches hautes provient essentiellement de la méthode de spécification. Elle intervient peu au niveau de l'implémentation du terminal dans lequel toutes ces couches sont gérées par un seul équipement. En ce qui concerne le réseau, cette interface est plus importante. L'interface entre la couche physique et les couches hautes se situe en effet entre la station de base et le RNC, c'est-à-dire au niveau de l'interface Iub.

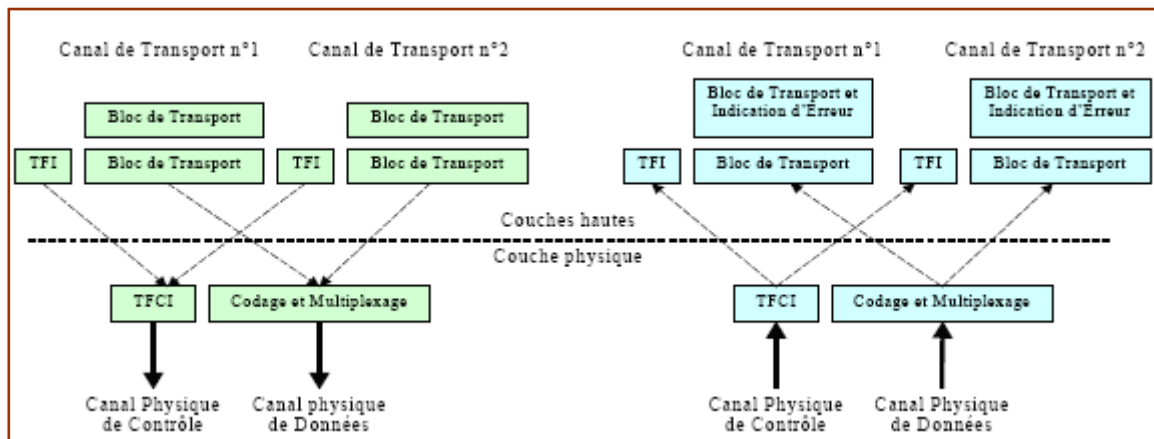


Figure II.10 : Interface entre la couche physique et les couches hautes

II.5.1.1-Canal de transport dédié :

Il existe un seul canal de transport dédié. Il est noté DCH (Dedicated channel) dans les spécifications de la série 25 de l'UTRA. Ce canal de transport dédié véhicule toutes les informations provenant des couches situées au-dessus de la couche physique et destinée à un utilisateur donné. Cela inclut aussi bien les données correspondant au service utilisé que des informations de contrôle issues des couches hautes. La nature des informations transmises n'est pas visible au niveau de la couche physique. Les données utilisateur et les données de contrôle ont ainsi traité exactement de la même manière. Naturellement, les paramètres de la couche physique établis par l'UTRAN peuvent varier pour les données utilisateur ou pour les informations de contrôle.

Le canal de trafic TRCH (Traffic Channel) et le canal associé de contrôle ACCH (Associated Control Channel), utilisés en GSM, n'existent pas dans la couche physique de l'UTRA. Le canal de transport dédié véhicule depuis le terminal à la fois les données de service, comme les trames de voix, et les informations de contrôle, comme les commandes de handovers et les remontées de mesures. En WCDMA, un canal séparé de transport n'est pas nécessaire du fait de la capacité du système à supporter des débits variables et un multiplexage des services.

II.5.1.2-Canaux de transport commun :

Six types des canaux de transport communs ont été définis pour l'UTRA. Ils présentent peu de différences par rapport à ceux définis pour les systèmes de deuxième génération.

Notons que les canaux communs ne supportent pas le soft handover et que certains d'entre eux peuvent supporter le contrôle de puissance

II.5.1.2.1-Broadcast Channel :

Le canal BCH (Broadcast Channel) ou canal de diffusion est un canal de transport utilisé pour transmettre des informations spécifiques au réseau d'accès ou à une cellule donnée. Les données les plus fréquemment nécessaires dans tout type de réseau mobile sont les codes d'accès aléatoires disponibles ou les slots d'accès disponibles au niveau de la cellule, ou encore, les méthodes de diversité en transmission utilisées avec d'autres canaux pour une cellule donnée. Le terminal ne peut pas s'inscrire dans une cellule s'il n'a pas la possibilité de décoder ce canal broadcast. C'est pour cela que la puissance de ce canal est généralement élevée afin qu'il puisse être capté par l'ensemble des utilisateurs de la cellule.

II.5.1.2.2-Forward Access Channel :

Le canal FACH (Forward Access Channel) est un canal de transport du sens descendant qui véhicule des informations de contrôle aux terminaux localisés dans une cellule donnée. C'est par exemple le cas après qu'un message de demande d'accès aléatoire (Random Access) a été reçu, de la part d'un terminal, par la station de base. Il est également possible de transmettre des données par paquet sur le canal FACH. Il peut y avoir plus d'un canal FACH par cellule. Un des canaux FACH doit cependant avoir un débit relativement faible afin qu'il puisse être reçu par l'ensemble des utilisateurs de la cellule. Lorsqu'il y a plus d'un canal FACH par cellule, les canaux FACH supplémentaires peuvent avoir un débit plus élevé. Le canal FACH n'utilise pas le contrôle de puissance et les messages transmis doivent comprendre des informations d'identification afin d'assurer leur correcte réception.

II.5.1.2.3 - Paging Channel :

Le canal PCH (Paging Channel) est également un canal de transport du sens descendant assurant le transport des informations nécessaires à la procédure de paging lorsque le réseau souhaite initier une communication avec un terminal. Le plus simple exemple est le cas d'un appel voix vers un terminal le réseau transmet alors un message de paging grâce au canal PCH sur toutes les cellules de la zone de localisation où est sensé se trouver le terminal que le réseau d'accès souhaite joindre. Ce message de paging est alors transmis sur une ou plusieurs cellules, selon la configuration du système et celle des zones de localisation. Les terminaux

doivent bien évidemment pouvoir recevoir l'information de paging dans toute la cellule. Notons que la configuration du canal de paging affecte directement la consommation d'énergie des terminaux en mode veille. Moins le récepteur du terminal a à écouter le canal PCH pour savoir si un message de paging lui est destiné, plus la batterie du terminal aura une durée de vie importante en mode veille.

II.5.1.2.4 - Random Access Channel :

Le canal RACH (Random Access Channel) est un canal de transport du sens montant qui est utilisé pour transporter des informations de contrôle provenant du terminal, telles que les demandes d'établissement de connexion. Il peut être utilisé également pour transmettre une faible quantité de données par paquet du terminal vers le réseau. Pour un fonctionnement correct, le canal RACH doit bien évidemment être reçu par la station de base quelle que soit la localisation du terminal dans la cellule, cela implique que le débit utilisé sur ce canal doit être suffisamment faible, du moins pour les premières procédures d'accès et de contrôle.

II.5.1.2.5-Uplink Common Packet Channel:

Le canal CPCH (Common Packet Channel) est une extension du canal RACH qui permet de transmettre des données utilisateur par paquet dans le sens montant. Le canal correspondant sur le sens descendant est le canal FACH. Au niveau de la couche physique, la principale différence qui réside entre les canaux CPCH et RACH est que le premier utilise le contrôle de puissance, un mécanisme de détection de collision ainsi qu'une procédure de gestion d'état CPCH. La transmission sur le canal CPCH peut être maintenue sur un grand nombre de trames alors que celle s'appuyant sur le canal RACH ne peut excéder une ou deux trames.

II.5.1.2.6-Downlink Shared Channel:

Le canal DSCH (Downlink Shared Channel) est un canal de transport du sens descendant permettant de transporter des informations utilisateur ou des informations de contrôle dédiées. Il peut cependant être partagé par plusieurs utilisateurs. A certains égards, ce canal est similaire au canal FACH, mais le canal DSCH utilise le contrôle de puissance aussi bien qu'un débit qui peut varier d'une trame à l'autre. Le canal DSCH peut ne pas être reçu dans toute la cellule et peut utiliser les différentes méthodes de diversité de transmission utilisées

par le canal associé DCH. Le canal DSCH est toujours associé à un canal DCH du sens descendant.

II.5.1.2.7- Canaux de transports nécessaires:

Les canaux RACH, FACH et PCH sont les trois canaux communs de transport nécessaires au bon fonctionnement du système. L'utilisation des canaux DSCH et CPCH reste, quant à elle, optionnelle.

II.5.1.3-Correspondance des canaux de transports et des canaux physiques :

Les différents canaux de transport que nous venons d'aborder s'appuient sur différents canaux physiques. La correspondance entre ces canaux de transport et canaux physiques est donnée dans la Figure II.11.

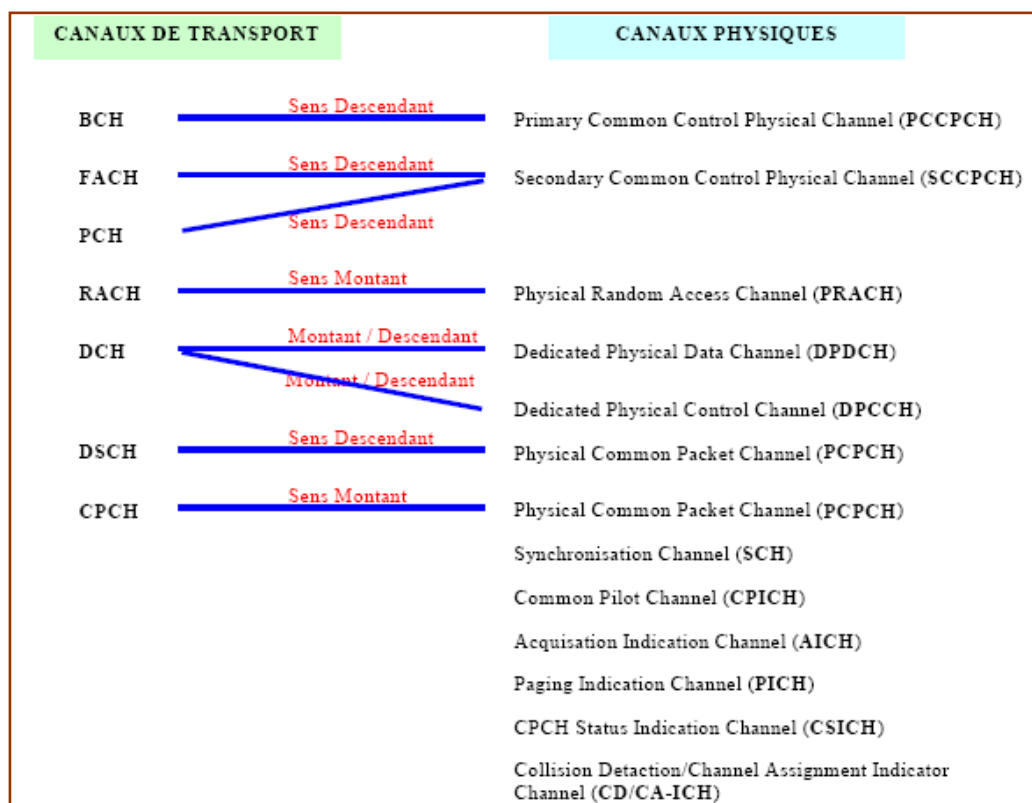


Figure II.11 : Correspondance entre canaux de transport et canaux physiques

En plus des canaux de transport introduits plus haut, il existe des canaux physiques qui ne véhiculent que des informations propres aux procédures de la couche physique. Il s'agit des canaux SCH (Synchronisation Channel), CPICH (Common Pitot Channel) et AICH (Acquisition Indication Channel) qui ne sont pas visibles du point de vue des couches hautes mais qui sont cependant nécessaires au système et doivent être transmis par chaque station de

base. Les autres canaux, CSICH (CPCCH Status Indication Channel) et CD/CA-ICH (Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel) ne sont nécessaires que si le canal CPCCH est utilisé.

Notons que le canal de transport DCH s'appuie sur deux canaux physiques. Le canal physique DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) transporte les informations des couches hautes ainsi que les données utilisateur alors que le canal physique DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) véhicule les informations de contrôle nécessaire à la couche physique. Ces deux canaux dédiés sont essentiels au support de débits variables au niveau de la couche physique. Le débit du canal DPCCH est par contre constant alors que celui du canal DPDCH peut varier d'une trame à l'autre.

II.5.2-Étalement et modulation :

II.5.2.1-Scrambling :

Le processus réalisé par l'émetteur comprend une opération dite de « scrambling » ou de bouillage. Cette dernière est essentielle au bon fonctionnement du système car elle permet de séparer les différents signaux d'un même terminal ou d'une même station de base le scrambling est réalisé juste après l'étalement et ne modifie en rien la bande passante du signal, son rôle se limite à séparer les différents signaux, les uns des autres. Avec cette procédure de scrambling. L'étalement peut être effectué par plusieurs émetteurs avec le même code de « channelisation » sans pour autant compromettre la détection des signaux par le récepteur. La figure II.12 présente les opérations d'étalement et de scrambling ainsi que l'impact de ces dernières sur le débit utilisateur. Notons que le scrambling n'a pas d'influence sur le débit de chip introduit par l'étalement. Le concept de code à de channelisation est introduit dans la section suivante.

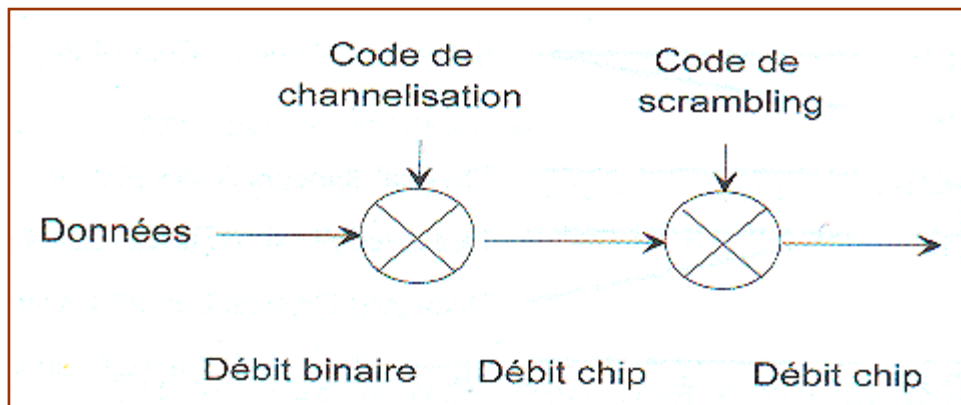


Figure II.12 : Relation entre l'étalement et le Scrambling

II.5.2.2-Codes de canalisation (Channelisation) :

Les émissions issues d'une même source sont séparées grâce aux codes de canalisation. Il peut s'agir, par exemple, des différentes connexions provenant d'un même secteur dans le sens descendant et le canal physique dédié d'un terminal dans le sens montant. Les codes d'étalement sont basés sur la technique OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor). L'utilisation de ces codes OVSF permet de modifier le facteur d'étalement SF (Spreading Factor) et de maintenir l'orthogonalité des différents codes d'étalement même si ces derniers sont de longueur différente. Ces codes sont choisis parmi ceux de « l'arbre des codes » qui est présenté dans la figure II.13

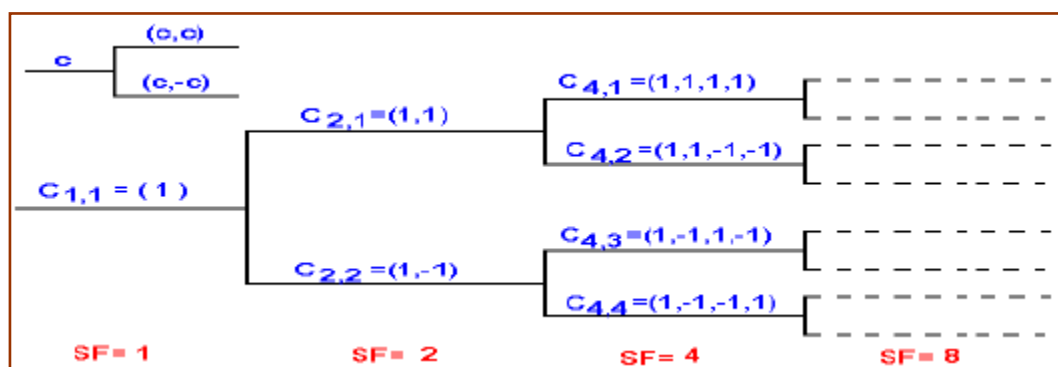


Figure II.13 : Début de l'arbre des codes de canalisation

Il existe cependant certaines restrictions quant à l'utilisation des codes d'étalement. Un canal physique ne peut utiliser un code donné que si aucun code de la branche qui en découle n'est

utilisé par un autre canal physique, c'est-à-dire si aucun autre canal physique n'utilise un facteur d'étalement plus grand généré à partir du code que le premier canal souhaite utiliser. Les fonctionnalités et les caractéristiques du scrambling et des codes de canalisation sont résumés dans le tableau suivant :

Fonctionnalités	Code de <i>channelisation</i>	Code de <i>scrambling</i>
Utilisation	<i>Uplink</i> : séparation des canaux DPDCH et DPCCH provenant d'un même terminal. <i>Downlink</i> : séparation des connexions des différents utilisateurs d'une même cellule.	<i>Uplink</i> : séparation des terminaux. <i>Downlink</i> : séparation des cellules.
Longueur	<i>Uplink</i> : 4 à 256 chips (1 à 66.7µs) <i>Downlink</i> : 512 chips	<i>Uplink</i> : 10ms = 38400 chips <i>Downlink</i> : 10ms = 38400 chips
Nombre de codes	Nombre de codes égale au facteur d'étalement.	<i>Uplink</i> : plusieurs millions <i>Downlink</i> : 512
Famille de codes	Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF)	10ms : Gold code (long)
Etalement	Oui, Augmentation de la bande passante	Non, Aucune modification de la bande passante

Tableau II.2 : Fonctionnalités des codes de Scrambling et de channelisation

Pour la transmission provenant d'une même source, qu'il s'agisse d'un terminal ou d'une station de base, il existe un arbre de codes de canalisation pour chaque code de scrambling. Cela signifie que différents terminaux et différentes stations de base peuvent utiliser leurs arbres de codes indépendamment, il n'y a nul besoin de coordonner les ressources en termes d'arbres de codes entre les différents terminaux ou stations de base.

II.5.2.3- Etalement et modulation Uplink:

II.5.2.3.1-Modulation Uplink :

Dans le sens montant, il existe deux critères supplémentaires à prendre en compte dans la définition des méthodes de modulation et d'étalement. La modulation Uplink doit en effet être conçue afin de maximiser l'efficacité de l'amplificateur du terminal et de minimiser les interférences dites « audibles » générées par le terminal.

La transmission discontinue Uplink peut causer des interférences audibles avec des équipements audio qui se trouvent à proximité du terminal comme, par exemple, des haut-parleurs. Il s'agit ici d'interférences qui n'ont rien à avoir avec les interférences radio qui apparaissent au niveau de l'interface air. Les interférences audibles sont des nuisances

perceptibles par l'utilisateur mais qui ne perturbent en rien les performances du réseau. Avec un terminal GSM, il est courant d'observer des interférences audibles avec des équipements audio qui ne sont pas correctement protégés. L'interférence due au GSM à une fréquence de 217 Hz, qui est déterminée par la fréquence de trame GSM. Cette fréquence tombe dans la bande de fréquences audibles par les êtres humains. Avec un système CDMA, les mêmes problèmes apparaissent lorsque la transmission discontinue Uplink est activée, par exemple pour le service voix. Durant les périodes de silence, aucun bit de données utilisateurs n'est transmis, seules des informations propres au lien sont transmises comme celles relatives au contrôle de puissance, à une fréquence de 1.5 kHz. Avec une telle fréquence, la transmission des symboles pilot et ceux du contrôle de puissance, multiplexés temporellement sur le sens montant causerait des interférences audibles au milieu de la bande de fréquences utilisée pour la voix. Par conséquent, les deux canaux physiques dédiés sur le sens montant ne sont pas multiplexés de façon temporelle mais grâce à un multiplexage complexe I/Q.

La figure II.14 présente le cas de la transmission continue d'un canal de control multiplexé par un code I/Q. ainsi, puisque la signalisation correspondant aux symboles pilot et aux contrôles de puissance sont transmis de façon continue sur un canal séparé, aucun pic de transmission n'a lieu. Les seuls pics qui se produisent correspondent à l'activation et à la désactivation du canal DPDCH mais cela n'intervient que rarement. Notons qu'avec ce type de modulation, les interfaces vers les autres utilisateurs et la capacité cellulaire restent en moyenne les mêmes qu'avec une solution de multiplexage temporel. De plus, les performances au niveau du lien radio sont les mêmes quel que soit le type de multiplexage choisi naturellement l'énergie allouée au pilot et au contrôle de puissance est similaire.



Figure II.14 : Transmission en parallèle des canaux DPDCH et DPCCH

Pour atteindre la meilleure effectivité possible de l'amplificateur de puissance, l'émission au niveau du terminal doit avoir un ratio PAR (peak-to-average au ratio maximum sur moyenne) aussi faible que possible afin que le terminal ait à fournir le moins de puissance possible et que par conséquent la batterie ait une durée de vie aussi longue que possible. Avec le multiplexage I/Q, appelé aussi modulation QPSK bi canal (dual Channel quadrature phase

shift keying), les niveaux de puissance des canaux DPDCH et DPCCH sont généralement différent, en particulier lorsque les débits augmentent et mènent, dans les cas extrêmes, à une transmission de type BPSK (binary phase shift keying). la transmission sur les deux branches se fait alors indépendamment. Mais cela est codé de Channelisation.

La constellation correspondant au multiplexage I/Q, avant la procédure de scrambling, est présentée dans la figure II.15. La même constellation est obtenue après descrambling au niveau de la réception.

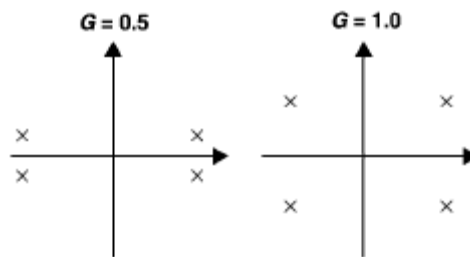


Figure II.15 : Constellation du multiplexage I/Q avant scrambling

Notons que dans la figure II.15 le paramètre G correspond au facteur de gain relatif entre les branches DPCCH et DPDCH.

La transmission des deux canaux parallèle, DPCCH et DPDCH, correspond à une transmission Multicodes, qui augmente le ratio de puissance peak-to-average, appelé aussi « crest factor ». Dans la figure II.15, ce ratio peak-to-average est modifié lorsque le paramètre G varie, c'est-à-dire lorsque les puissances relatives des canaux DPCCH et DPDCH, changent. En utilisant la solution de modulation présentée dans la figure II.16 l'efficacité de l'amplification de puissance de l'émetteur est similaire à celle d'une transmission QPSK équilibrée. Les codes complexes de scrambling sont organisés de telle façon que les rotations entre deux chips consécutives d'une même période de symbole soient limitées à $+90^\circ$ ou -90° . Une rotation de 180° ne peut intervenir qu'entre deux symboles consécutifs. Cette méthode réduit le ratio peak-to-average du signal émis par une modulation QPSK classique.

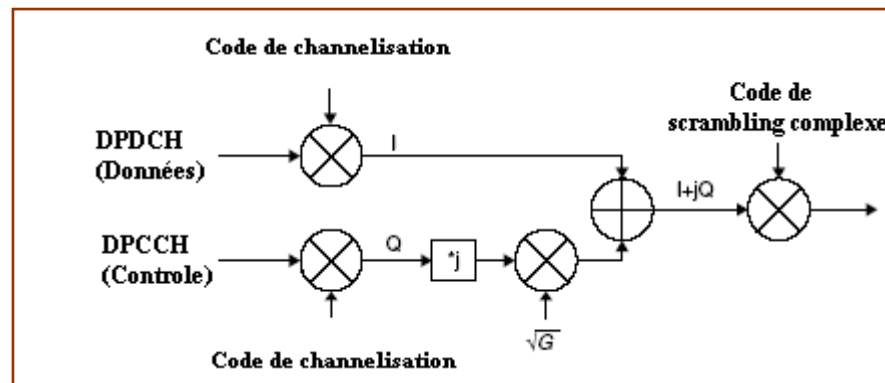


Figure II.16 : Multiplexage I/Q avec scrambling complexe

II.5.2.3.2-Etalement Uplink :

Il existe une restriction supplémentaire pour le code d'étalement du canal Uplink DPCCH. Le même code ne peut être utilisé par un autre canal même s'il appartient à une autre branche I ou Q. L'origine de cette restriction est que des canaux physiques transmis, avec le même code de canalisation sur les branches I et Q et avec le principe de double canal QPSK ne peuvent être distingués avant que le canal DPCCH ait été détecté et que les estimations de la phase du canal aient été réalisées.

Au niveau du sens montant, le facteur d'étalement du canal DPDCH peut varier à chaque trame. Les codes d'étalement sont toujours issus de l'arbre des codes que nous avons vu précédemment. Lorsque le code de canalisation utilisé pour l'étalement est toujours pris sur la même branche de l'arbre. L'opération de désétalement en est simplifiée. Le terminal fournit des informations concernant le débit utilisé grâce à l'indication TFCI (Transport Format Combination Indicator) sur le canal DPCCH. Afin de permettre la détection des données avec un facteur d'étalement variable sur le canal DPDCH.

II.5.2.3.3-Codes de scrambling uplink :

Les émissions issues de différentes sources sont séparées par les codes de scrambling. Au niveau du sens montant, il existe deux types de codes de scrambling : les codes courts et les codes longs. Les codes longs sont tronqués en une longueur correspondant à la durée d'une trame d'une 10ms, soit une longueur de 38 400 chips pour un débit chip de 3.84 Mc/s. Les codes courts ont, quant à eux, une longueur de 256 chips. Si des détecteurs Multi-Utilisateurs ou des récepteurs à annulation d'interférences sont utilisés au niveau de la

station de base. Les codes courts de scrambling peuvent être utilisés afin de simplifier l'implémentation de ces structures avancées de réception.

Les codes longs sont appelés « Gold codes ». La séquence de scrambling à valeur complexe est formée par l'association de deux fois le même code, décalés dans le temps. Le facteur de décimation du deuxième code est de 2. Cette méthode de création des codes de scrambling réduit les passages dans la constellation à la valeur 0 et réduit également les variations d'amplitude dans le processus de modulation.

II.5.3- Etalement et modulation Downlink :

II.5.3.1- Modulation Downlink :

Pour les sens descendant, une modulation classique QPSK a été avec des flux de données et de contrôle multiplexés temporellement. La modulation temporelle n'est pas utilisée dans le sens montant car elle générerait audibles en cas de transmission discontinue. En revanche ce problème d'interférences audibles n'intervient pas dans le sens descendant car dans les canaux communs n'utilisent pas cette méthode de transmission discontinue. De plus, comme il existe plusieurs émissions parallèles dans le sens descendant, une optimisation similaire du radio peak-to-average à celle recherchée dans le sens montant n'est pas utilisée. Réserver un code de canalisation juste pour le canal DPCH résulterait alors d'une mauvaise utilisation de la ressource en codes lorsque plusieurs émissions sont issues de la même source.

Puisque les branches I et Q ont la même puissance. L'opération de scrambling ne fournit pas une différence similaire pour les variations de l'enveloppe par apport au sens montant. La transmission discontinue est implémentée simplement, en interrompant la transmission.

II.5.3.2 -Etalement Downlink :

L'étalement au niveau du sens descendant est fondé sur les codes de canalisation comme pour le sens montant. L'arbre de codes issu d'un même code de scrambling est partagé par plusieurs utilisateurs, typiquement, un seul code de scrambling et donc un seul arbre de codes sont utilisés par secteur. Les canaux communs et dédié partagent ainsi les mêmes ressources en codes. Il existe une exception pour les canaux physiques. En effet, le

canal de synchronisation SCH (synchronisation Channel) n'utilise pas de code de scrambling. Les codes d'étalement concernant le canal SCH seront abordés plus loin.

Dans le sens descendant, le facteur d'étalement du canal dédié ne varie pas d'une trame à l'autre : la variation du débit est prise en charge par une autre opération d'appariement du débit ou plus simplement par la transmission discontinue qui peut être appliquée sur une partie du slot.

Il existe une autre particularité au niveau de sens descendant. Il s'agit du cas du canal DSCH (Downlink Shared Channel) qui peut utiliser un facteur d'étalement variable d'une trame à l'autre. Dans ce cas, les codes de canalisation nécessaires à l'étalement sont pris sur une même branche afin de faciliter l'implémentation des terminaux. Cela est utilisé dans la figure 4.9 qui montre le facteur d'étalement (SF, Spreading Factor) utilisé pour le débit maximum et la partie de l'arbre qui peut être utilisée par le réseau pour allouer des codes lorsqu'un débit moins important est nécessaire. Avec un tel fonctionnement, le canal DPCH du canal dédié véhicule d'une part d'indicateur TFCI qui permet d'informer le récepteur du code d'étalement utilisé et d'autre part les paramètres de transports pour le canal DSCH.

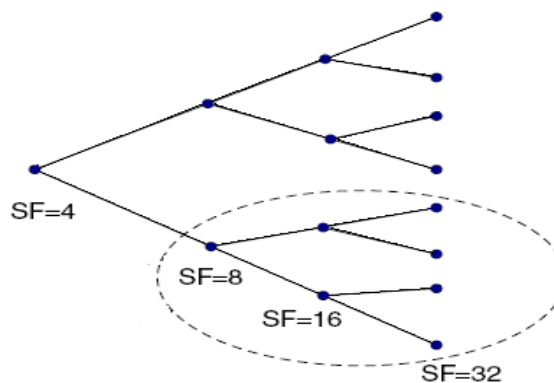


Figure II.17 : Exemple d'arbre de code DSCH

II.5.3.3-Scrambling Downlink :

Le scrambling pour le sens descendant utilise des codes longs, les mêmes codes Gold que pour le sens montant. Le code de scrambling à valeur complexe est formé par un même code décalé dans le temps pour les branches I et Q. la période du code est de 10ms. Notons que les codes courts ne sont pas utilisés pour les sens descendant. Un premier ensemble de codes de scrambling comprend 512 codes.

Comme le sens montant, la période des codes est très longue mais seules les 38400 chips sont utilisées pour l'instant. Cette limitation a été choisie afin que les terminaux puissent retrouver rapidement le bon code parmi les 512 disponibles.

II.5.4-Transmission de données utilisateur sur le canal dédié Uplink:

La direction Uplink utilise un multiplexage I/Q pour les données utilisateur et les informations de contrôle de la couche physique (Figure II.18). Ces informations de contrôle sont véhiculées par le canal DPCCH (Dedicated Physical Control Channel) avec un facteur d'étalement fixe de 256. Les informations de contrôle issues des couches hautes ainsi que les données utilisateur sont, quant à elles, transmises sur le canal DPDCH (Dedicated Physical Data Channel) qui utilise un facteur d'étalement variable, compris entre 4 et 256. La transmission dans le sens Uplink peut être constituée d'un ou plusieurs canaux DPDCH avec un facteur d'étalement variable et d'un seul canal DPCCH au facteur d'étalement constant.

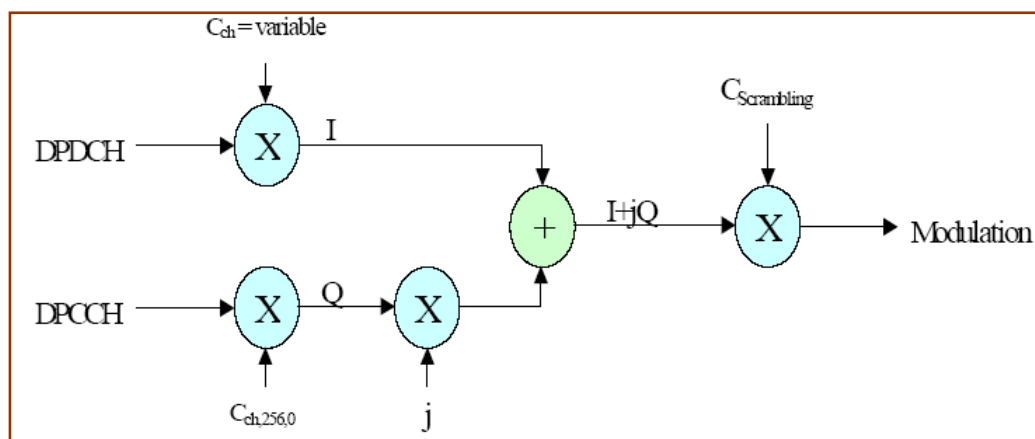


Figure II.18 : Multiplexage I-Q avec code scrambling complexe

Le débit du canal DPDCH peut varier d'une trame à l'autre. Pour un service à débit variable, le débit du canal DPDCH est indiqué sur le canal DPCCH. Le canal DPCCH est transmis de façon continue et l'information du débit est transmise par l'indicateur TFCI. Par conséquent, si cet indicateur TFCI n'est pas décodé correctement, l'intégralité de la trame sera perdue. Puisque l'indicateur TFCI n'indique que le format de transport de la trame courante, la perte d'un indicateur TFCI d'une trame n'affectera pas les autres trames. La Figure II.19 présente la structure du canal dédié Uplink en détail

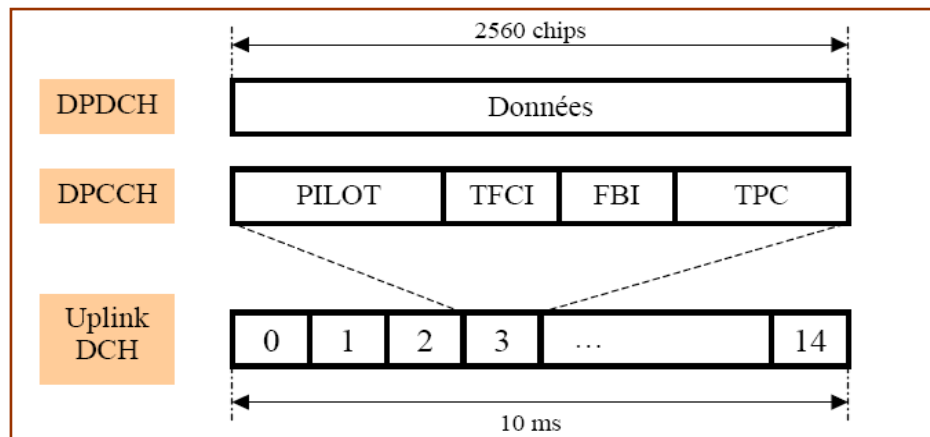


Figure II.19: Structure du canal dédié Uplink

Le canal DPCCH utilise une structure à 15 slots sur une durée de trame radio de 10 ms. Cela représente une durée de slot de 2 560 chips, soit environ 666 μ s. Chaque slot possède quatre champs utilisés pour transmettre les bits pilot, l'indicateur TFCI (Transport Format Combination Indicator), les bits TPC (Transmission Power Control) et les bits FBI (Feedback Information). Les bits pilot sont utilisés pour l'estimation du canal au niveau du récepteur, les bits TPC, pour véhiculer les commandes du contrôle de puissance Downlink.

Les bits FBI sont, quant à eux, utilisés quand de la diversité de transmission est mise en place sur le sens descendant. L'utilisation de ces bits est décrite dans la spécification technique de 3GPP. Le débit maximum des données utilisateur pour un seul code provient directement du débit maximum du canal qui est de 960 kbps, sans codage du canal et avec un facteur d'étalement de 4. Avec le codage du canal, le débit maximum des données utilisateur pour un seul code est de l'ordre de 400 à 500 kbps. Lorsque des débits utilisateur plus élevés sont nécessaires, des canaux parallèles doivent être utilisés. Il est possible d'utiliser jusqu'à 6 codes en parallèle ce qui permet d'atteindre un débit de transmission de 5 740 kbps, soit un débit utilisateur de 2 Mbp/s voire plus si le taux de codage est de $\frac{1}{2}$. Ainsi, il est bien possible d'offrir un débit utilisateur de 2 Mbps, même après retransmission. Les débits utilisateurs maximums sont donnés dans le Tableau 4.2 avec un taux de codage de $\frac{1}{2}$.

Facteur d'étalement DPDCH	Débit du canal DPDCH (kbps)	Débit utilisateur maximum (kbps)
256	15	7.5
128	30	15
64	60	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4 (avec 6 codes)	5740	2300

Tableau II.3 : Débits DPDCH Uplink

Le récepteur Uplink situé au niveau de la station de base doit réaliser les tâches suivantes lorsqu'il reçoit les signaux d'un terminal.

- Le récepteur commence à recevoir la trame et désétale le DPCCH puis mémorise le DPDCH en fonction du débit maximum, correspondant au plus petit facteur d'étalement.

Pour certains slots, le récepteur doit:

- 1- estimer le canal à partir des bits pilot du DPCCH.
- 2- estimer le ratio SIR à partir des bits pilot de chaque slot.
- 3- envoyer la commande TPC au terminal afin qu'il puisse contrôler sa puissance d'émission.
- 4- décoder les bits TPC de chaque slot et ajuster la puissance d'émission de la station de base.

- Tous les deux ou les quatre slots : décoder les bits FBI, s'ils sont présents, et ajuster les phases des antennes utilisées en diversité ou les phases et les amplitudes, selon la méthode de diversité utilisée.

- Pour chaque trame de 10 ms: décoder l'indicateur TFCI afin d'obtenir le débit et les paramètres permettant le décodage du canal DPDCH.

- Pour chaque intervalle TTI (Transmission Time Interval) qui correspond à la période d'entrelacement (soit 10, 20, 40 ou 80 ms): décoder les données du canal DPDCH.

Les fonctions ci-dessus sont également à réaliser dans le sens descendant, à part les exceptions suivantes :

- Dans le sens descendant, le facteur d'étalement du canal dédié est constant, comme pour les canaux communs. La seule exception est le canal DSCH (Downlink Shared Channel) qui autorise un facteur d'étalement variable.

- Les bits FBI ne sont pas utilisés sur le sens descendant.
- Sur le sens descendant, un canal commun pilot est disponible en plus des bits pilot du canal DPCCH. Les bits de ce canal commun pilot peuvent être également utilisés pour l'estimation du canal.
- La transmission dans le sens descendant peut utiliser deux antennes dans le cas de la diversité d'espace. Le récepteur effectue l'estimation du canal à partir des données issues des deux antennes par conséquent, doit réunir les données déséталées en provenance des deux antennes.

II.6-Les protocoles de l'interface radio UTRAN :

II.6.1-Architecture en couche:

L'interface radio de l'UTRAN est structurée en couches dont les protocoles se basent sur les 3 premières couches du modèle OSI (respectivement la couche physique, la couche liaison de données et la couche réseau).

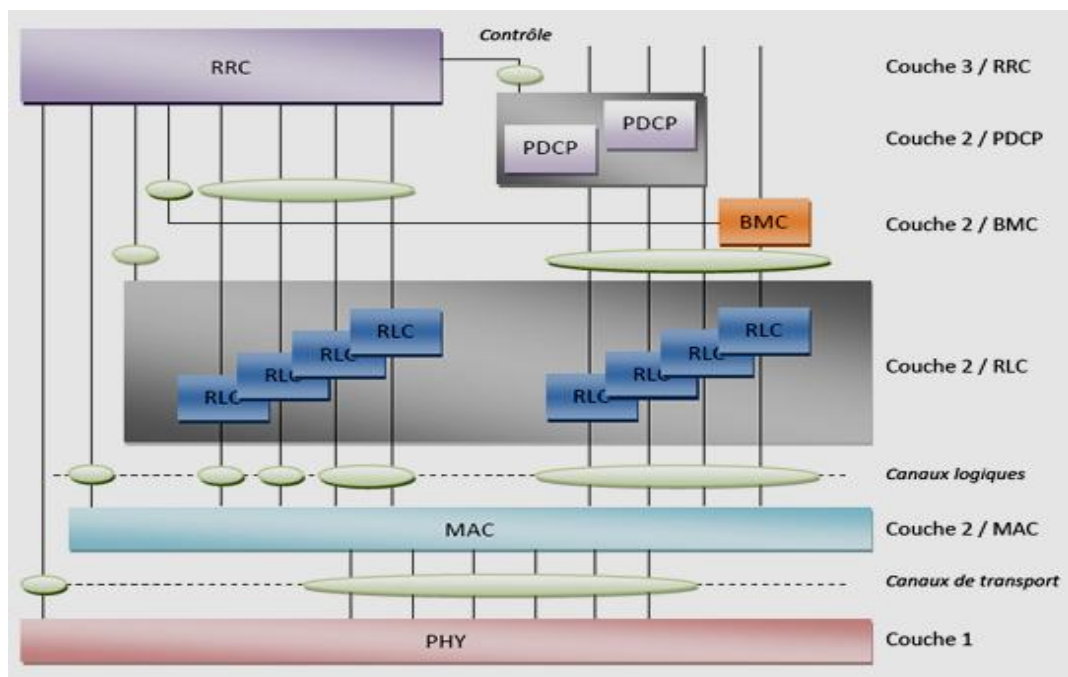


Figure II.20 : Vue en couches de l'interface radio UTRAN

Couche 1 : Cette couche PHY représente la couche physique de l'interface radio qui réalise les fonctions de codage, décodage, modulation et d'entrelacement via W-CDMA.

Couche 2 : Cette couche est divisée en plusieurs sous couches :

- **La sous-couche MAC (Medium Access Control)** a pour rôle de multiplexer les données sur les canaux de transport radio.
- **La sous-couche RLC (Radio Link Control)** permet la fiabilité du transport des données entre deux équipements du réseau.
- **La sous-couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol)** permet de compresser les données via des algorithmes de compression. Cela permet d'exploiter plus efficacement les ressources radio. PDCP compresse les en-têtes des paquets TCP/IP suivant les RFC 1144 et 2507. De plus, cette sous-couche PDCP a aussi pour rôle de rendre indépendant les protocoles radio du réseau d'accès UTRAN (sous-couches MAC et RLC) par rapport aux couches de transport réseau. Ce type d'architecture permettra l'évolution future des protocoles réseaux sans modifier les protocoles radio de l'UTRAN.
- **La sous-couche BMC (Broadcast/Multicast Control)** est en charge d'assurer les fonctions de diffusion de messages sur l'interface radio.

Couche 3 : Cette couche RRC (Radio Resource Control) gère la connexion de signalisation établie entre le réseau d'accès UTRAN et l'équipement usager, utilisée lors de l'établissement ou de la libération de la communication.

II.6.2-Protocole RLC :

Le protocole RLC (Radio Link Control) fournit des services de segmentation et de retransmission pour les données utilisateur et les informations de contrôle. Chaque instance RLC est configurée par la couche RRC pour fonctionner dans l'un des trois modes suivants : mode transparent (Tr), mode sans acquittement (UM, Unacknowledged Mode) ou mode avec acquittement (AM, Acknowledged Mode). Le service fourni par la couche RLC dans le plan de contrôle est appelé SRB (Signalling Radio Bearer). Dans le plan utilisateur, il est appelé RB (Radio Bearer), seulement si les protocoles PDCP et BMC ne sont pas utilisés par ce service, sinon le service RB est fourni par les protocoles PDCP ou BMC.

II.6.3-Protocole PDCP :

Le protocole PDCP (Packet Data Convergence Protocol) n'est utilisé qu'au niveau du plan utilisateur et seulement pour les services du domaine paquet. Le protocole PDCP comprend différentes méthodes de compression qui sont nécessaires à

l'amélioration de l'efficacité spectrale des services nécessitant la transmission de paquets IP sur l'interface radio. Le 3GPP a défini dans les spécifications de la Release 99 une méthode de compression d'en-têtes ainsi que plusieurs algorithmes de compression. Il faut savoir que cette compression d'en-tête est très importante puisque l'en-tête RTP/UDP/IP a une taille, pour le protocole IPv4, d'au moins 40 octets et d'au moins 60 octets, pour le protocole IPv6.

II.6.4- Protocole BMC :

Un autre protocole spécifique à la couche 2 existe au niveau du plan utilisateur. Il s'agit du Protocol BMC (Broadcast/Multicast Control Protocol) qui a été développé pour prendre en charge les services de diffusion sur l'interface radio. Dans la Release 99, le seul service utilisant ce protocole est le service de messages courts SMS Cell Broadcast. Ce service provient directement du GSM. Il utilise le mode RLC sans acquittement et le canal logique CTCH (Common Traffic Channel) qui s'appuie sur le canal de transport FACH. Chaque message SMS CB a non pas pour destination un abonné, mais tous les abonnés d'une zone géographique particulière. C'est au RNC de déterminer les cellules qui correspondent à cette zone.

II.6.5- Protocole RRC :

La majorité des échanges de signalisation entre le terminal et l'UTRAN utilise des messages RRC (Radio Resource Control). Ces messages RRC transportent tous les paramètres nécessaires à l'établissement, la modification et au relâchement des entités protocolaires de couches 1 et 2. Ces messages véhiculent dans leur payload toute la signalisation issue des couches hautes (MM, CM, SM, etc.). Notons également que la mobilité des utilisateurs en mode connecté est gérée par la signalisation RRC (rapports de mesures; handovers, mises à jour de localisation, etc.).

II.7- Discussion :

L'interface air dans l'UMTS est basée essentiellement sur la technique WCDMA qui est la plus adoptée pour les systèmes de la troisième génération dans le domaine des télécommunications mobiles. Dans ce chapitre nous avons rappelés les notions de base sur le WCDMA en premier lieu. Ensuite, nous avons étudié la couche physique avec ces caractéristiques telles que la structure de trame, le type de modulation utilisée, ainsi les

différents supports physiques nécessaires. Enfin, nous avons cités brièvement les protocoles de l'interface radio UTRAN.

Dans le chapitre qui suit, nous allons faire une étude sur la migration de GSM vers l'UMTS.

Chapitre III

Etude de la migration de GSM vers l'UMTS

III.1-Préambule :

Pour migrer du réseau GSM existant au réseau UMTS avec le moindre coût l'opérateur chercherait à réutiliser le maximum de l'infrastructure existante tels que les pylônes, les locaux, l'énergie. Cependant, les emplacements des sites GSM ne sont pas forcément tous de bons emplacements pour implanter des sites UMTS. Dans ce chapitre nous allons proposer des techniques de migration permettant aux opérateurs d'avoir une configuration optimale du réseau UMTS projeté en exploitant au maximum l'infrastructure existante.

III.2-Etude de la migration vers UMTS en se basant seulement sur l'infrastructure GSM existante :

Pour le cas de l'UMTS, les opérateurs veulent toujours réutiliser l'infrastructure existante du réseau GSM et en particulier les sites radio GSM. Ainsi dans ce chapitre, nous proposons de répondre à la question suivante : est ce que techniquement la réutilisation de tous les sites GSM peut conduire à un bon réseau UMTS ?

III.2.1-Présentation du réseau GSM :

Le réseau GSM sur lequel nous allons travailler est celui d'un Opérateur Télécom qui couvre le centre d'une ville (Zone urbaine). Ce réseau est présenté par la figure (III.1), il comporte 33 sites GSM et s'étale sur une surface de $5 \times 8 \text{ km}^2$ (5 km de largeur et 8 km de longueur.).

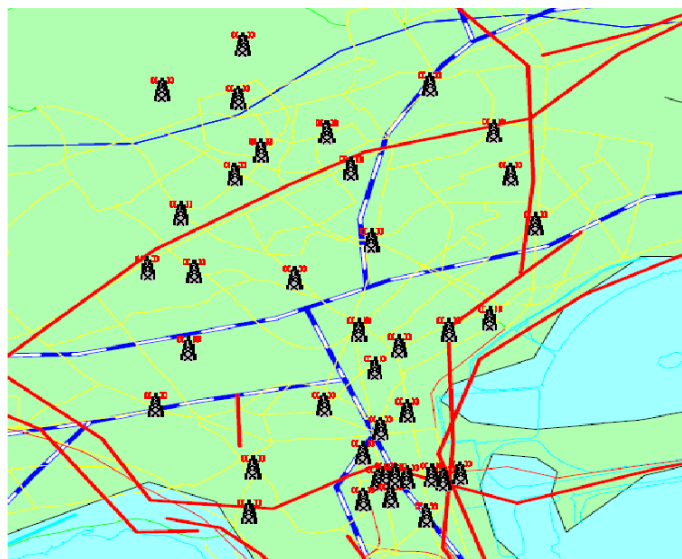


Figure III.1 : Configuration initiale du réseau GSM

III.2.2-Analyse du trafic :

Dans ce paragraphe, nous allons analyser le trafic GSM en utilisant des mesures réelles faites par le même Opérateur Telecom. Ces mesures montrent le trafic GSM maximal écoulé pour chaque site GSM. Ces mesures sont données par la figure (III.2).

Nous remarquons que la distribution de trafic entre les sites GSM n'est pas uniforme, cela est dû à la répartition spatiale des utilisateurs qui n'est pas uniforme. Pour analyser le trafic GSM, nous avons procédé comme suit :

- Discrétiser la zone d'étude en des mailles élémentaires de côté 25 mètre chacune, nous avons au total 200×320 mailles.
- En connaissant le site auquel appartient chaque maille et en supposant que le trafic dans une cellule est uniforme, nous déterminons la densité de trafic par maille.

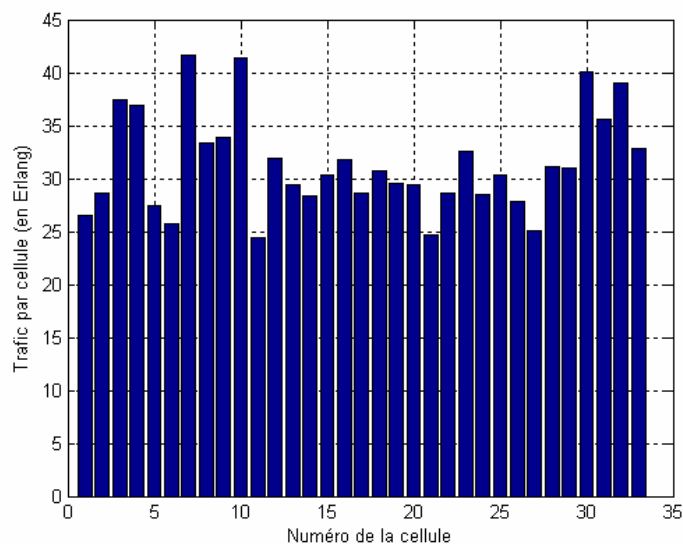


Figure III.2 : Analyse du trafic GSM

En l'absence de mesure de trafic sur des réseaux UMTS et vu l'importance d'étudier et de caractériser la répartition de trafic et son impact sur la couverture UMTS, nous avons estimé le trafic UMTS à partir du trafic GSM. Une différence entre le GSM et l'UMTS est que dans une cellule en GSM, nous avons un seul type de service pour tous les utilisateurs, par contre en UMTS, il y en a plusieurs. Pour cela nous allons considérer le scénario suivant avec le quel nous allons travailler : 50 % des utilisateurs actifs demandent un service vocal avec le débit 12.2 kbit/s, 30 % des utilisateurs demandent un service données avec le débit 64 kbit/s, 20 % des utilisateurs demandent un service données avec le débit 144 kbit/s. Mais ce

scénario sera traité une fois en considérant que le taux de pénétration est égal à 10% par rapport au GSM et une deuxième fois avec un taux de pénétration égal à 40%.

Pour calculer la portée des sites UMTS, nous avons adopté la démarche suivante :

- Nous avons considéré que les sites GSM sont tous des sites UMTS,
- Pour chaque site nous avons initialisé un rayon minimal,
- Nous calculons le trafic UMTS par site (A) par la formule suivante :

$$A = \text{Taux de pénétration} \sum_i \sum_j A(i,j) \quad (\text{III.1}) \quad [10]$$

Avec (i,j) les indices des mailles incluses dans la cellule et A(i,j) le trafic dans la maille d'indices (i,j).

- Nous calculons le nombre n d'utilisateurs dans la cellule par la loi d'Erlang :

$$n = A + k \sqrt{A} \quad (\text{III.2})$$

Avec 10^{-k} le taux de blocage, dans notre travail, nous l'avons considéré égal à 2%. La figure (III.3) montre l'organigramme de l'algorithme.

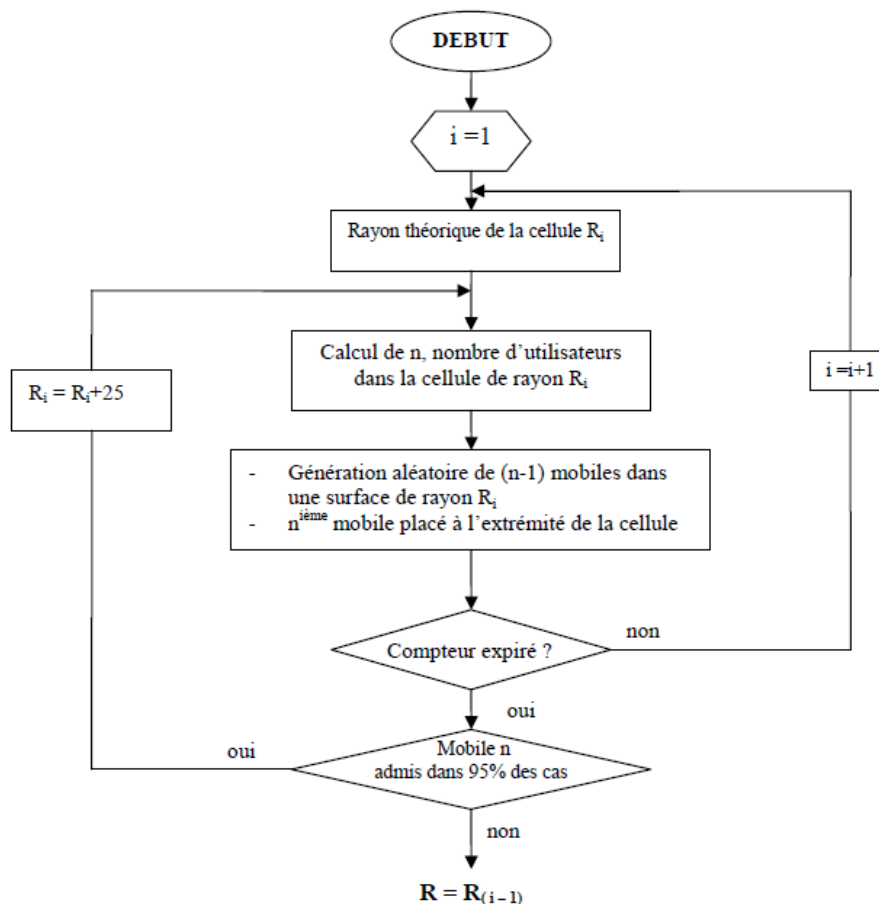


Figure III.3 : Recherche de la couverture des sites UMTS

III.2.3-Résultats de la simulation :

La figure (III.4) montre le résultat obtenu pour un taux de pénétration égal à 10%.

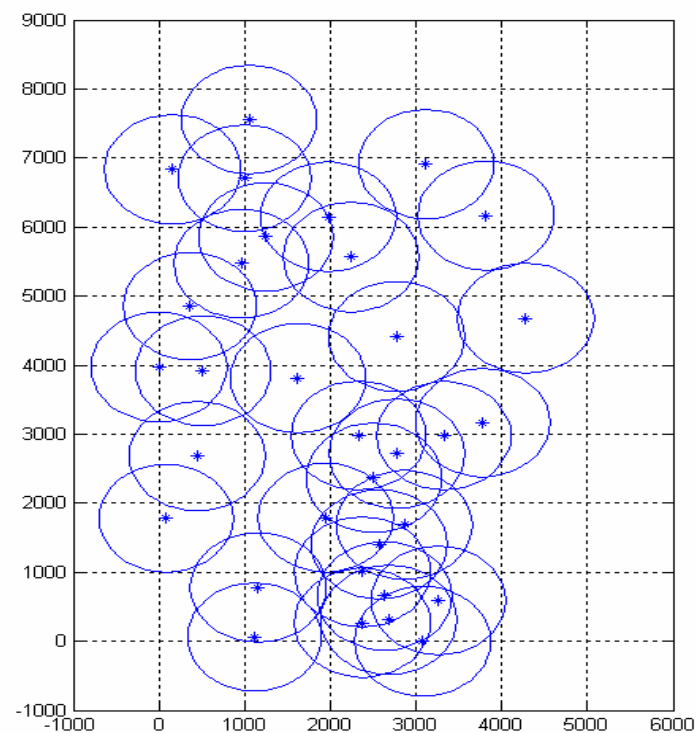


Figure III.4 : Couverture des sites GSM/UMTS pour un taux de pénétration de 10%

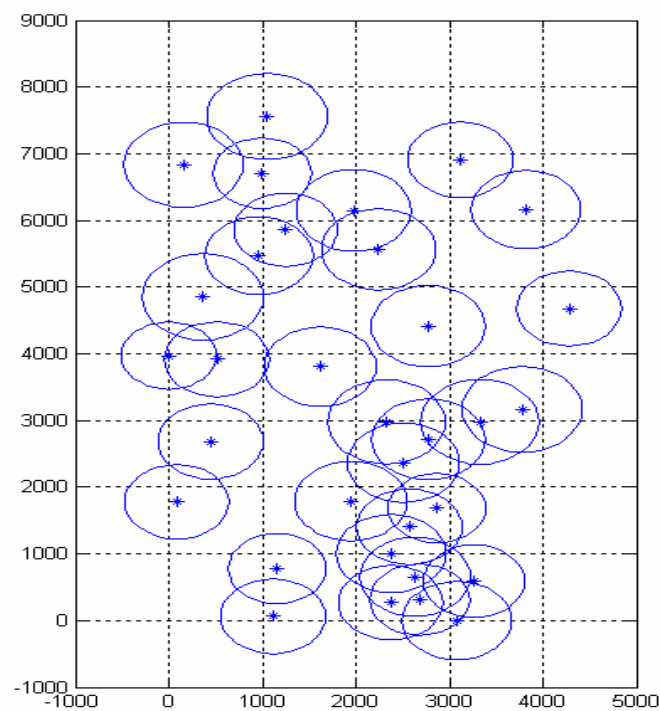


Figure III.5 : Couverture des sites GSM/UMTS pour un taux de pénétration de 40%

III.2.4- Evaluation des résultats et analyse des performances :

Pour évaluer les performances d'un réseau, l'opérateur peut utiliser plusieurs paramètres tels que le taux de couverture du réseau, le taux de recouvrement par site et la probabilité de blocage. Dans notre cas, nous avons considéré uniquement les deux premiers indicateurs:

- L'opérateur doit assurer un taux de couverture maximal à fin de répondre a un maximum d'utilisateurs et pour s'échapper des situations de coupures d'appel causées par les trous de couverture. Dans notre travail, nous l'avons considéré supérieur ou égal à 95 %,
- L'opérateur doit aussi assurer un minimum de taux de recouvrement par site, mais cet indicateur ne doit pas dépasser un maximum. Dans notre travail, nous l'avons considéré entre 20% et 55 %. La figure (III.6) représente le taux de recouvrement par site, notons que le taux de recouvrement par site représente la surface recouverte par site sur la surface totale de ce dernier.

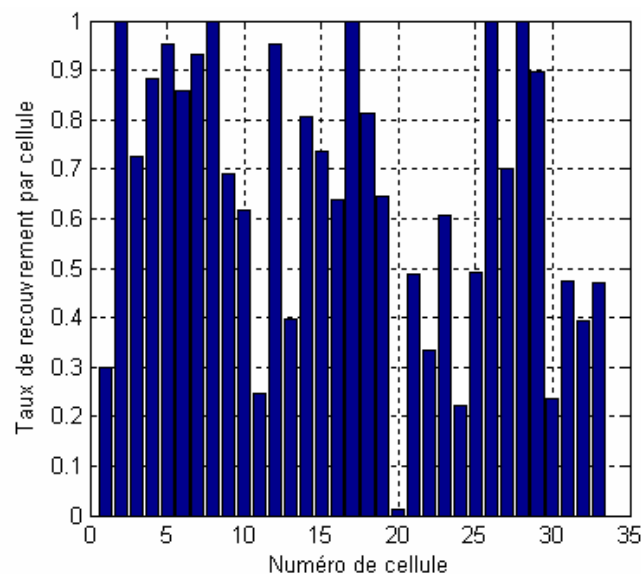


Figure III.6 : Taux de recouvrement par site pour un taux de pénétration de 10%

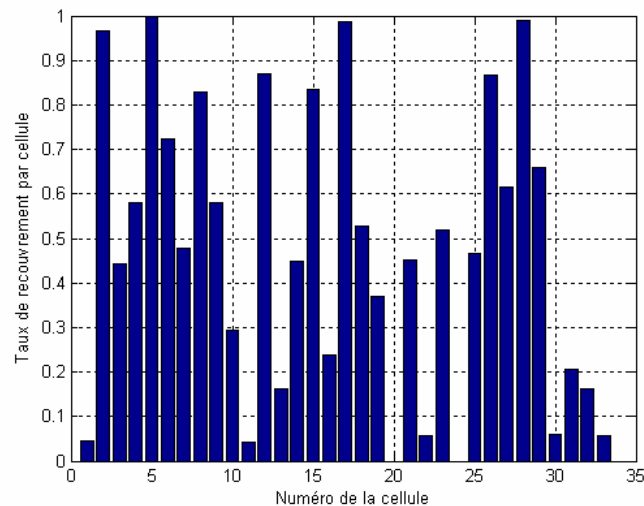


Figure III.7 : Taux de recouvrement par site pour un taux de pénétration de 40%

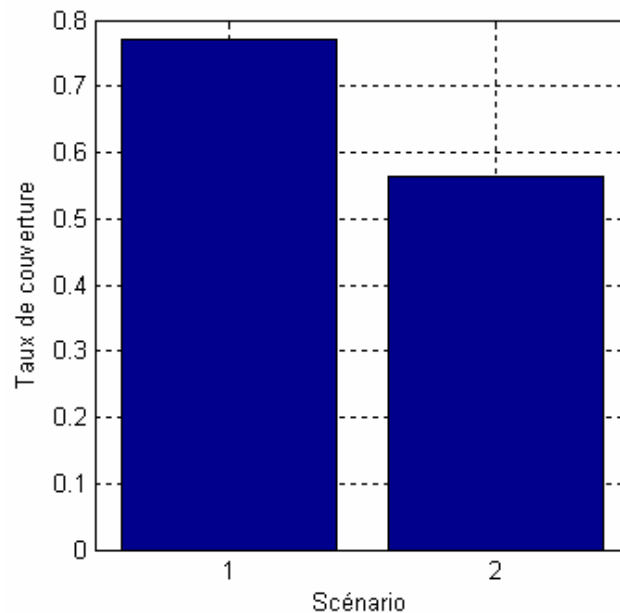


Figure III.8 : Taux de couverture pour les deux scénarios

Nous remarquons que les résultats obtenus sont différents pour les deux scénarios. En effet, le taux de couverture diminue en augmentant le taux de pénétration. Ce résultat confirme les résultats du chapitre précédent : si le nombre d'utilisateurs actifs dans la cellule augmente, le rayon de la cellule diminue. Nous remarquons aussi que, pour un site donné, le taux de recouvrement pour le premier scénario est supérieur à celui du deuxième scénario. Cela est dû au fait que la couverture de chaque site est plus importante pour le premier scénario que pour le deuxième. Nous remarquons également que les contraintes de qualité de services en termes de taux de couverture et taux de recouvrement par site ne sont pas respectées. En effet, le taux de recouvrement est nettement inférieur à 95% pour les deux

scénarios. En plus, le taux de recouvrement par site n'est pas toujours dans l'intervalle fixé (entre 55% et 20%).

III.3- Outil d'optimisation pour une migration optimale vers l'UMTS (Etude de cas et évaluation des performances)

Dans la migration précédente, nous avons montré que nous ne pouvons pas assurer une migration du réseau GSM existant au réseau UMTS en se basant seulement sur l'infrastructure existante. Pour cela, nous devons chercher des méthodes qui garantissent une migration optimale vers l'UMTS.

III.3.1-Définition des besoins :

Dans cette partie, nous définissons les besoins qui doivent être satisfaits par les méthodes de migration optimale du réseau GSM au réseau UMTS. Nous cherchons d'une part à exploiter le maximum de l'infrastructure existante et à minimiser l'infrastructure à ajouter d'autre part.

Ces méthodes doivent aussi obéir aux exigences concernant les performances du réseau UMTS comme suit :

- Assurer un taux de couverture supérieur ou égal à 95%,
- Assurer un taux de recouvrement par site supérieur à 20% et inférieur à 55%.

III.3.2-Première méthode de migration :

III.3.2.1-Les étapes de l'algorithme :

Nous utilisons un algorithme qui permet, dans une première étape, de déterminer les sites qui ont un taux de recouvrement qui dépasse le seuil et les éliminer.

Dans une deuxième étape on balaye la zone d'étude, à chaque fois qu'on trouve une surface de 500 m² qui n'est couverte par aucune cellule, on ajoute un site en son centre. Après l'ajout de chaque site, on recalcule le taux de couverture, si ce dernier est inférieur au seuil, on continue la recherche, sinon on est arrivé à un bon résultat et on arrête la recherche.

La figure (III.9) montre l'organigramme du premier algorithme d'optimisation.

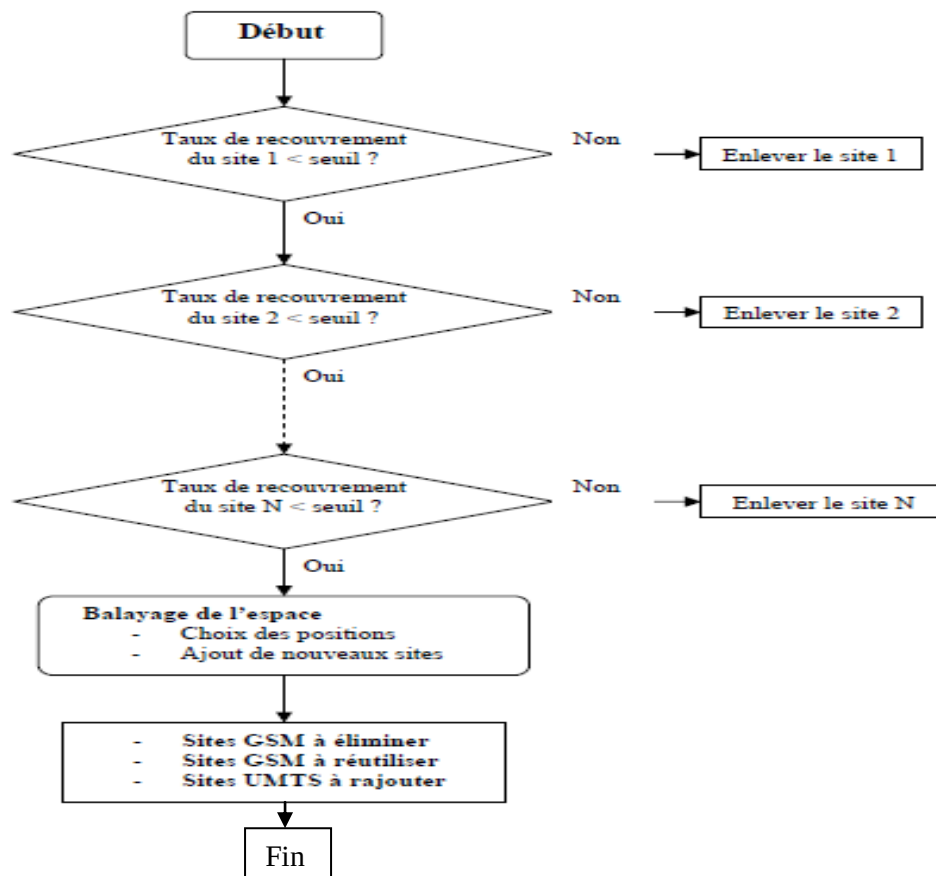


Figure III.9 : Organigramme de l'algorithme d'optimisation (première méthode)

III.3.2.2-Les résultats de la simulation :

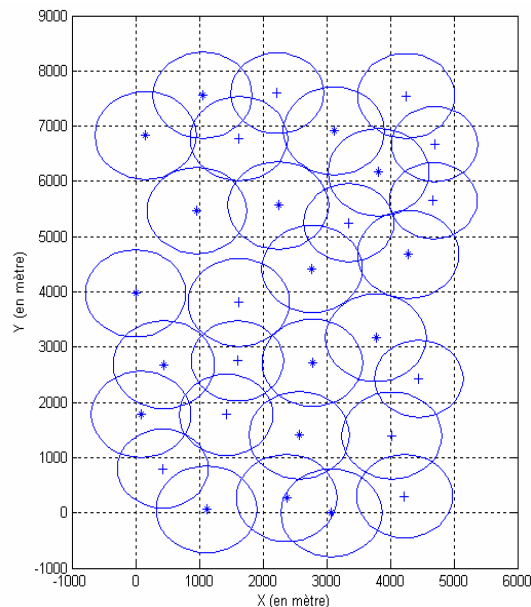


Figure III.10 : Configuration du réseau après application du premier algorithme d'optimisation pour un taux de pénétration égal à 10%

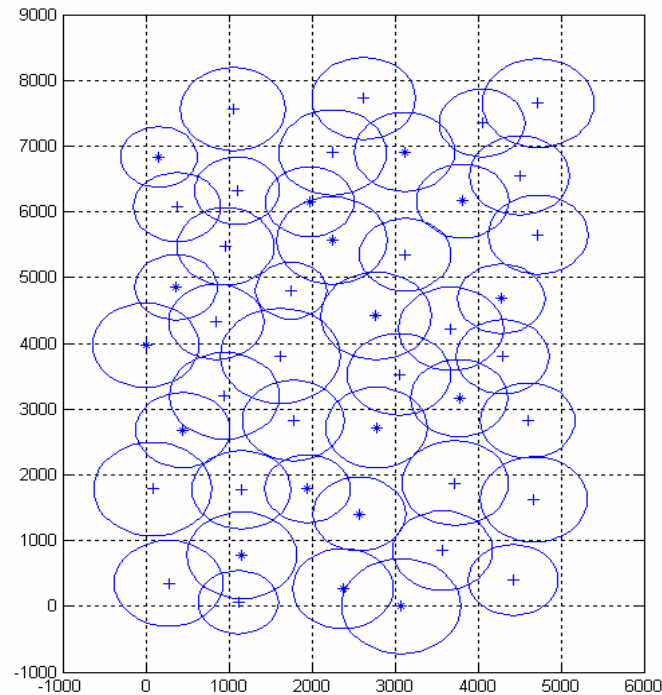


Figure III.11 : Configuration du réseau après application du premier algorithme d'optimisation pour un taux de pénétration égal à 40%

Notons que les cellules centrées par une étoile '*' sont les cellules gardées après élimination des cellules trop chevauchées, les autres sont ajoutés après application de l'algorithme d'optimisation.

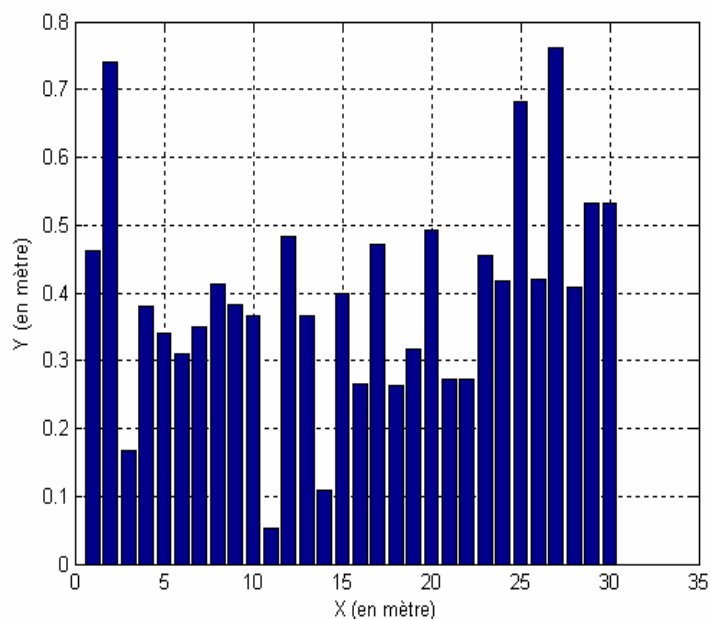


Figure II.12 : Taux de recouvrement par site après application du premier algorithme pour un taux de pénétration égal à 10%

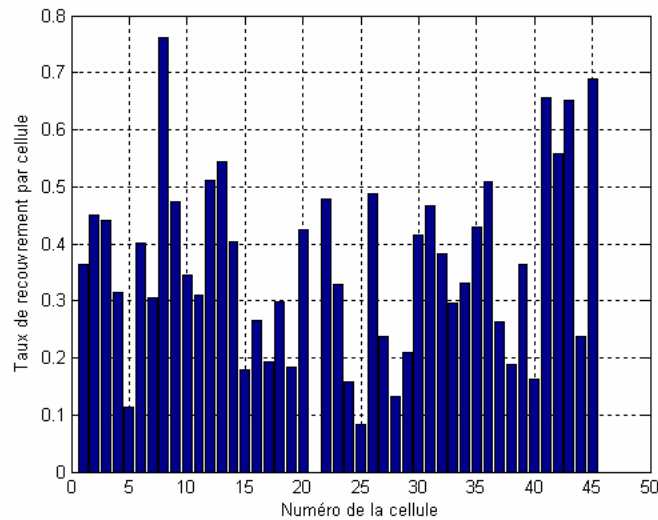


Figure III.13 : Taux de recouvrement par site après application du premier algorithme pour un taux de pénétration égal à 40%

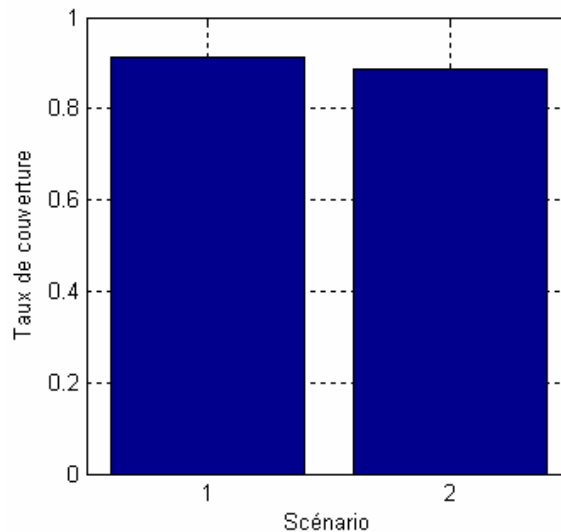


Figure III.14 : Taux de couverture pour les deux scénarios

III.3.2.3-Interprétation des résultats :

La nouvelle configuration du réseau a donnés les critères de performance suivants :

- Un taux de couverture plus important par rapport à celui trouvé dans la simulation précédente pour les deux scénarios, mais ce taux est encore inférieur à 95%,
- Un taux de recouvrement par site qui ne satisfait pas toujours les contraintes.

Puisque nous n'avons pas atteint des valeurs satisfaisantes en termes de taux de couverture et de taux de recouvrement par site, nous avons proposé une deuxième approche d'optimisation.

III.3.3-Deuxième méthode de migration :**III.3.3.1-Les étapes de l'algorithme :**

L'idée de cet algorithme est différente de celle de la première méthode. Dans la nouvelle méthode nous avons abordé le problème en suivant les étapes suivantes :

- Nous considérons que tous les sites GSM sont des sites UMTS, nous calculons la portée de chaque site et nous supprimons les cellules qui ont un taux de recouvrement supérieur à 55%,
- Nous considérons un compteur et nous initialisons un nombre de sites UMTS à ajouter.
- Les sites UMTS à ajouter sont positionnés aléatoirement dans des zones qui ne sont pas encore couvertes par le réseau UMTS,
- Après l'ajout de chaque site, nous calculons de nouveau le taux de recouvrement par site, s'il dépasse le seuil alors nous changeons les coordonnées du nouveau site. Cette étape est répétée jusqu'à aboutir à un taux de recouvrement inférieur à 55%.
- Nous calculons le taux de couverture. Si nous avons atteint la valeur cible, c'est la fin de l'algorithme, sinon si le compteur n'a pas encore expiré, Les sites UMTS à ajouter sont de nouveau positionnés aléatoirement dans des zones non couvertes. Quand le compteur expire on conclue que le nombre de sites UMTS à ajouter n'est pas suffisant, on l'incrémente et nous répétons les trois dernières étapes jusqu'à aboutir aux bons résultats.

Cet algorithme va nous garantir une migration optimale parce que nous commençons par un nombre petit de sites UMTS à ajouter, de cette façon nous n'allons ajouter que les sites nécessaires pour satisfaire les contraintes exigées par l'opérateur.

L'organigramme représenté par la figure (III.15) représente les détails et les étapes du deuxième algorithme heuristique.

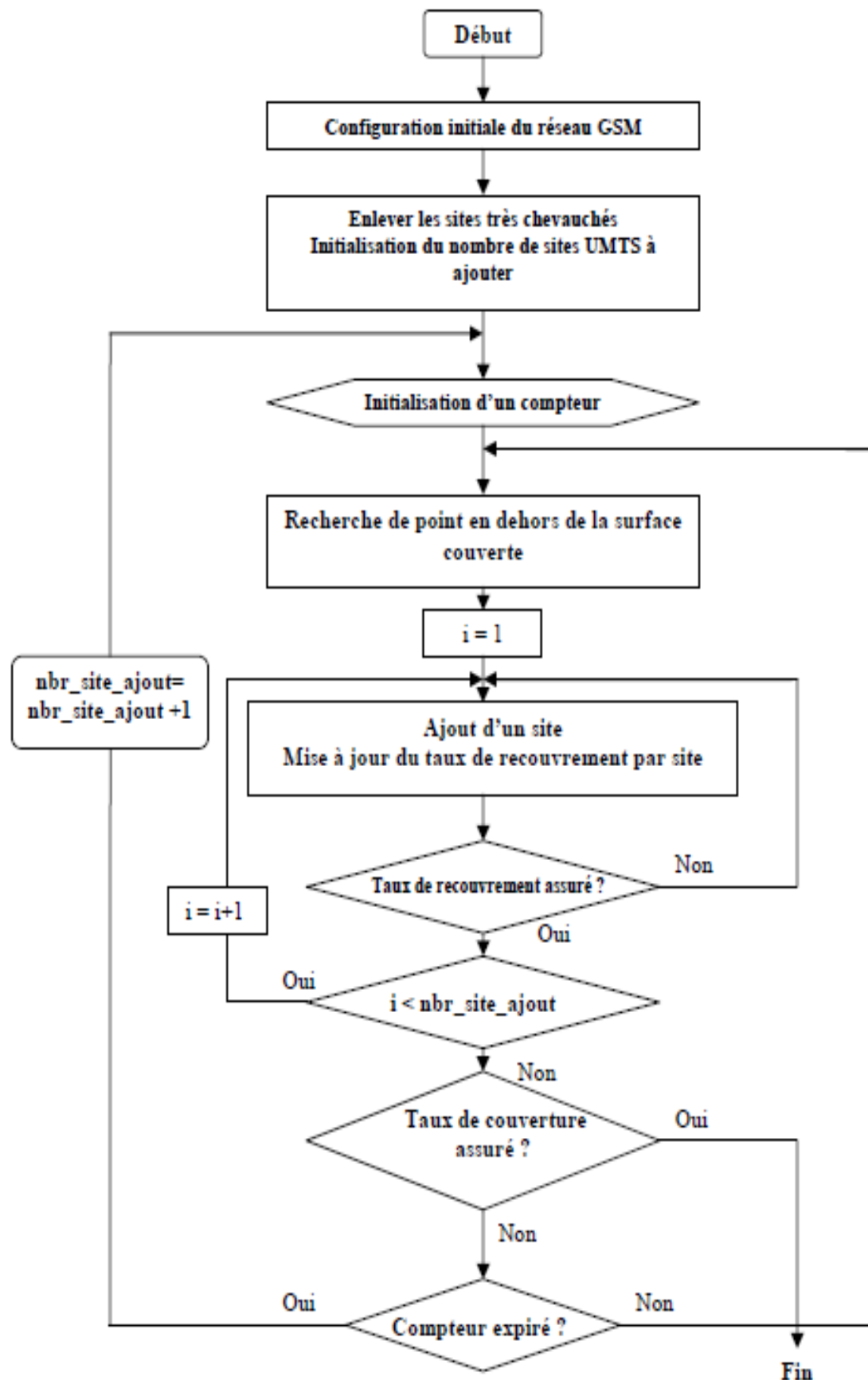


Figure III.15 : Organigramme de l'heuristique

III.3.3.2-Résultats obtenus :

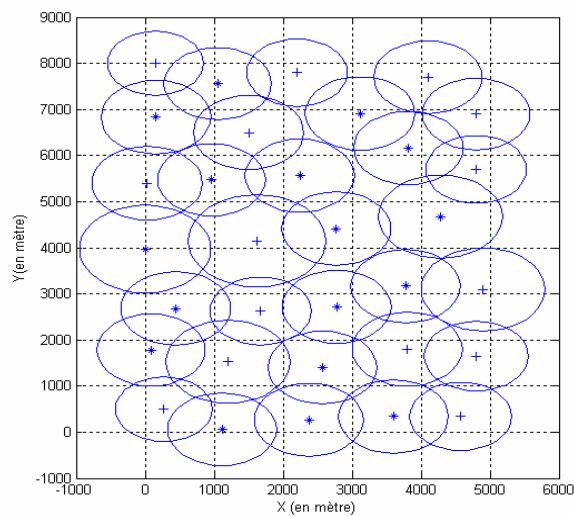


Figure III.16 : Configuration du réseau après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 10%

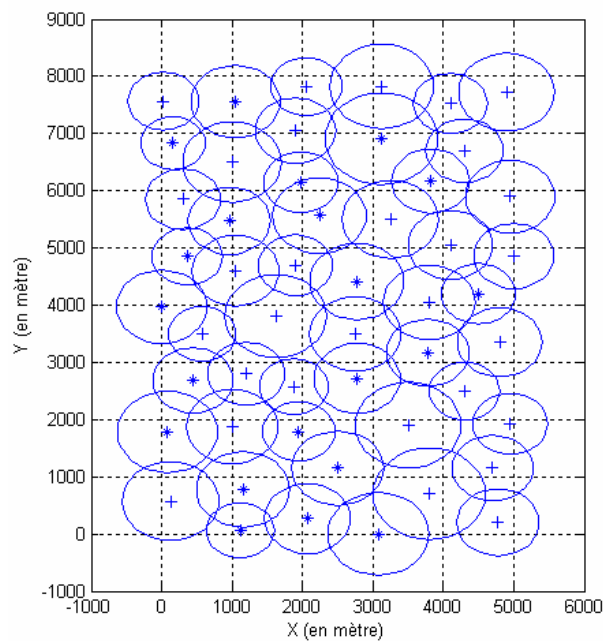


Figure III.17 : Configuration du réseau après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 40%

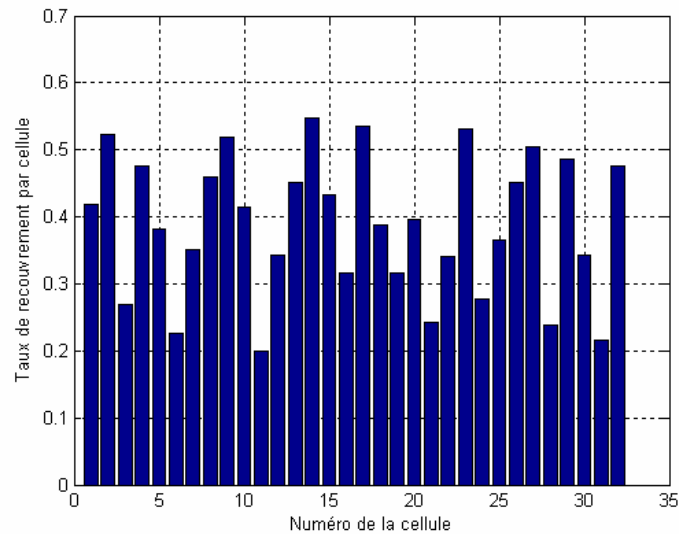


Figure III.18 : Taux de recouvrement par site après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 10%

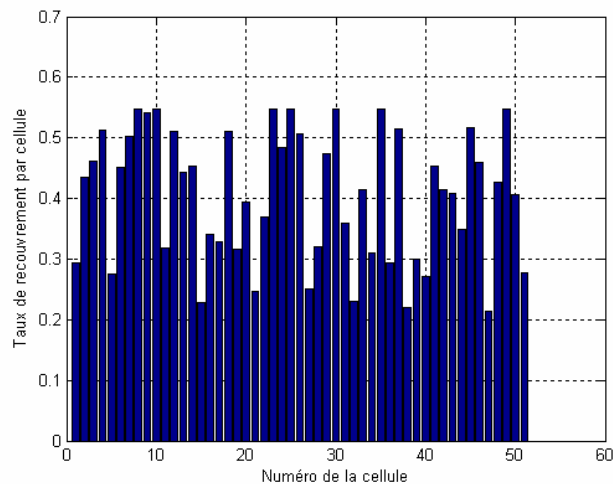


Figure III.19 : Taux de recouvrement par site après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour un taux de pénétration égal à 40%

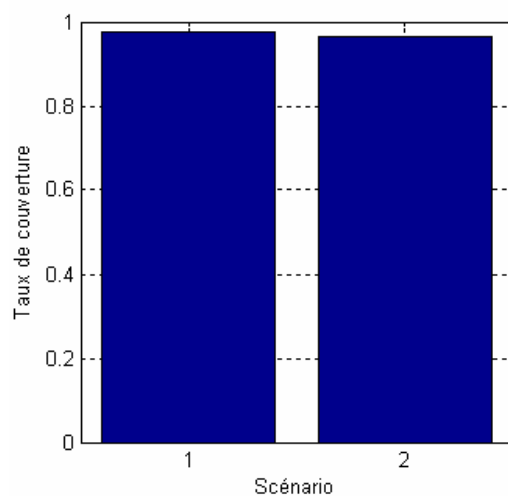


Figure III.20 : Taux de couverture après application de l'heuristique (deuxième méthode) pour les deux scénarios considérés

III.3.3.3-Interprétation des résultats :

Nous rappelons que nous avons considéré la répartition de service entre les utilisateurs est comme suit : 50 % des utilisateurs actifs demandent un service vocal avec le débit 12.2 kbit/s, 30 % des utilisateurs demandent un service données avec le débit 64 kbit/s et 20 % des utilisateurs demandent un service données avec le débit 144 kbit/s.

Nous avons considéré aussi deux scénarios :

- Un taux de pénétration égal à 10% par rapport au GSM,
- Un taux de pénétration égal à 40% par rapport au GSM.

Nous remarquons que, en utilisant cette heuristique, nous avons pu atteindre pour les deux scénarios considérés un taux de couverture supérieur ou égal à 95%. Nous avons aussi obtenu pour chaque site un taux de recouvrement inférieur à 55% et supérieur à 20%.

III.3.3.4-Coût de la migration vers l'UMTS :

A partir des résultats obtenus de notre algorithme d'optimisation, nous avons calculé le coût de la migration du réseau GSM existant vers le réseau UMTS.

Le coût de cette migration en utilisant l'heuristique développée est présenté dans le tableau qui suit.

	Scénario 1	Scénario 2
Nombre de sites GSM à ne pas utiliser	15	11
Nombre de sites GSM/UMTS	18	22
Nombre de sites UMTS à ajouter	14	29
Nombre total de sites	32	51

Tableau III.1 : Coût de la migration du GSM à l'UMTS en utilisant l'heuristique (deuxième méthode)

III.3.4-Comparaison entre les deux méthodes de migration :

Comme nous avons noté avant, les deux algorithmes reposent chacun sur une idée différente. Les résultats obtenus de chacun d'eux sont aussi différents.

- Le premier algorithme a donné un taux de couverture inférieur au seuil fixé dès le début, en utilisant cet algorithme, le taux de recouvrement par site dépasse parfois le seuil. L'avantage

de cet algorithme est qu'il ne consomme pas beaucoup de temps pour l'exécution (un temps d'exécution d'environ 15 minutes),

- Le deuxième algorithme nous garantit un taux de couverture supérieur ou égal au seuil et un taux de recouvrement par site dans l'intervalle exigé. Mais le temps d'exécution de cet algorithme est largement supérieur à celui du premier.

Le tableau qui suit récapitule les différences des deux différentes approches.

	Premier algorithme	Deuxième algorithme
Taux de couverture	Insatisfaisant	Bon
Taux de recouvrement	Insatisfaisant	Bon
Temps d'exécution	moyen	important

Tableau III.2 : Comparaison entre les performances des deux algorithmes

III.4-Discussion :

Dans ce chapitre nous avons réalisé une étude théorique sur la migration de réseau GSM vers le réseau UMTS avec le moindre coût possible. Dans la première méthode qu'on peut considérer bisque, on a basé seulement sur l'infrastructure existante (Site GSM). Pour une deuxième méthode optimale, on a éliminé quelques sites GSM qui ne répondent pas aux exigences, avec l'ajout d'autres sites au centre des zones non couvertes. Comme une autre méthode plus optimale, nous considérons que tous les sites GSM sont des sites UMTS et on ajoute des sites UMTS positionnés aléatoirement dans des zones qui ne sont pas encore couvertes par le réseau UMTS.

A l'aide d'un simulateur on a abouti à des résultats plus ou moins satisfaisants. La troisième méthode est largement plus optimale et plus satisfaisante.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'UMTS fait partie des derniers systèmes de télécommunication, il est encore dans sa phase de développement dans notre pays.

Grâce à son débit et la largeur de sa bande de fréquence, il est arrivé à exploiter d'une façon très prometteuse les avantages de la technologie de la troisième génération; ainsi en plus de services traditionnellement connus dans la seconde génération; d'autres services imposés par les besoins de l'utilisateur ont vu le jour en l'occurrence la transmission des images de vidéo et l'Internet.

L'interface radio dans l'UMTS est basée essentiellement sur la technique WCDMA qui est la plus adoptée pour les systèmes de la troisième génération dans le domaine des télécommunications mobiles.

Pour développer une méthode de migration du réseau GSM au réseau UMTS, nous avons considéré un réseau GSM à l'échelle d'une ville, comme modèle d'étude. Ce réseau comporte 33 sites répartis sur une surface de 5 km de largeur et 8 km de longueur.

La simulation montre qu'il y a une dépendance entre la capacité et la couverture en utilisant la technique d'accès multiple WCDMA, nous avons aussi vu que la capacité/couverture dépend du type de service demandé par l'utilisateur.

Cette étude nous a bien aidés à développer des connaissances sur la norme sur la 3G notamment l'interface radio WCDMA.

L'UMTS n'est pas en soit un progrès essentiel. Son utilisation ne changera pas la face du monde. C'est juste un maillon essentiel dans l'avènement de la société de l'information qui est cœur de la révolution technologique que nous vivons à haut débit.

Avec le développement de domaine de communication, les utilisateurs sont plus en plus exigeants et la demande des services multimédia est toujours en progression. Les opérateurs sont dans l'obligation de développer des technologies plus performantes en matière de débit et services offerts.

Pour choisir le système de communication le mieux adapté à leurs besoins, et qui n'est pas nécessairement le plus évolué ou le plus onéreux, les entreprises doivent prendre en considération les questions relatives aux coûts d'installation et de maintenance, au retour sur investissement, à la sécurité et aux normes.

Nous pouvons donc vraisemblablement penser que le débit et la qualité de services et le développement d'autres technologies plus compétitives permettant l'évolution dans le

domaine des télécommunications. C'est pourquoi la 3G n'est qu'une étape vers des générations plus récentes: 4G.

Glossaire

GLOSSAIRE

2G: Deuxième Génération

3G: Troisième Génération

3GPP: 3rd Generation Partnership Project

8PSK: 8 Phase Shift Keying

A

ACCH: Associated Control Channel

AMPS: Advanced Mobile Phone Service

AMRF : Accès Multiple par Répartition en Fréquence

AMRT : Accès Multiple par Répartition en temps

AN: Access Network

ARIB: Association of Radio Industries and Business

ASC: Access Service Class

ASIC: Application Specific Integrated Circuit

AuC: Authentication Center

AWGN: Additive White Gaussian Noise

B

BC: Committed Burst size

BCCH: Broadcast Control Channel.

BCS: Block Check Sequence.

Be: Excess Burst size

BG: Border Gateway.

BTS: Base Transceiver Station

BCH: Broadcast Channel

BER: Bit Error Rate

BMC: Broadcast/Multicast Control

BPSK: Binary Phase Shift Keying

BRAN: roadcast Radio Access Network

BS: Base Station

BSC: Base Station Controller

BSIC: Base Station Identity Code

BSN: Block Sequence Number

BSS: Base Station SubSystem GPRS Protocol

BSSGP: Base Station Sub-System

C

C/I: Carrier-to-Interference ratio

CCPCH: Common Control Physical Channel

CCTrCh: Coded Composite Transport Channel

CDMA: Code Division Multiple Access

CCITT: Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique

CN: Core Network

CPCH: Common Physical Channel

CRNC: Controlling RNC

CI: Cell Identifier

CIR: Committed Information Rate

CS: Coding Scheme

CODIT: Code division test bed

D

DCCH: Dedicated Common Control Channel

DCH: Dedicated Channel

DPCCH: Dedicated Physical Control Channel

DPCH: Dedicated Physical CHannel

DPDCH: Dedicated Physical Data Channel

DRNC: Drift RNC

DS-CDMA: Direct Sequence Code Division Multiple Access

DSCH: Downlink Shared Channel

E

EDGE: Enhanced Data rates for GPRS Evolution

EGPRS: Enhanced GPRS

EGSM: Extent GSM **EIR:** Equipment Identity Register

EIR: Equipment Identity Register

F

FACCH: Frequency Associated Control channel

FDMA: Frequency Division Multiple Access

FACH: Forward Access Channel

FDD: Frequency Division Duplex

FFH: Fast Frequency Hopping

FH: Frequency Hopping

G

GERAN: GPRS EDGE Radio Access Network

GGSN: Gateway GPRS Support Node

GMSC: Gateway MSC

GMSK: Gaussian-filter Minimum Shift Keying

GMM: GPRS Mobility Management

GPRS: General Packet Radio Service

GSM: Global System for Mobile communication

H

HLR: Home Location Register

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access

I

IMT2000: International Mobile Telecommunications 2000

IMEI: International Mobile Equipment Identity

IMSI: International Mobile Subscriber Identity

IP: Internet Protocol

IS-95: North American Version of the CDMA Standard

ISDN: Integrated Services Digital Network

ITU: International Telecommunication Union

IPI: Inter-Path-Interference

ISUP: ISDN User Part

ITU: International Telecommunication Union

L

LA: Location Area

LU: Location Update

LCS: Location Services

M

MAC: Medium Access Control

MCS: Modulation and Coding Schemes

MIC: Modulation par Impulsions Codées

MMS: Multimedia Messaging Service

MS: Mobile Station

MSC: Mobile Switching Center

MSISDN: Mobile Station ISDN

MT: Mobile Terminal

ME: Mobile Equipment

MSC: Mobile Switching Centre

N

NMC: Network Management Center

NS: Network Service

NSS: Network Sub-System

Node B: WCDMA BS

O

OMC: Operation and Maintenance Center

OSI: Open Systems Interconnection

OSS: Operation Subsystem

OVSF: Orthogonal Variable Spreading Factor

P

PCCH: Paging Control Channel

PCCPCH: Primary Common Control Physical Channel

PCH: Paging Channel

PCU: Packet Control Unit

PDC: Personal Data Cellular

PDCP: Packet Data Control Protocol

PDN: Packet data Network

PDSCH: Physical Downlink Shared Channel

PDU: Protocol data Unit

PHS: Personal Handy phone System

PIC: Parallel Interference Cancellation

PLMN: Public Land Mobile Network

PLL: Phased Locked Loop

PN: Pseudo noise

Q

QoS: Quality of Service

QPSK: Quadrature Phase Shift Keying

R

RACH: Random Access Channel

RADIUS: Remote Authentication Dial in User Server

RTC: Réseau Téléphonique Commuté

RACH: Random Access Channel

RAN: Radio Access Network

RLC	Radio Link Control
RNC	Radio Network Control
RRC	Radio Resource Control

S

SF: Spreading Factor

SGSN: Serving GPRS Support Node

SIM: Subscriber Identity Mobile

SIR: Signal to Interference Ratio

SMS: Short Message Service

SRNC: Serving RNC

SM: Session Management

T

TA: Time Advance

TCH: Traffic Channel

TCP: Transmission Control Protocol

TDMA: Time Division Multiple Access

TE: Terminal Equipment

TMSI: Temporary Mobile Subscriber Identity

TS: Time Slot

TDD: Time Division Duplex

U

UL: Uplink

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

UE: User Equipment

UIT: Union International for Telecommunication

UM: Unacknowledged Mode

UMSC: UMTS MSC

UMTS: Universal Mobile Telecommunication System

USIM: UMTS SIM

UTRA: UMTS Terrestrial Radio Access

UTRAN: UMTS Terrestrial RAN

V

VLR: Visitor Location Register

W

WAP: Wireless Application Protocol

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access

Bibliographie

Bibliographie

[1] **SELLAM.F et SMAHI.D**, « Présentation et implémentation des services GPRS sous la plateforme GSM », thèse d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Promotion 2004

[2] **MOUNSI.F et RACHEDI.F**, « Accès à Internet via le GPRS et création d'une interface Gb dans le réseau Mobilis », thèse d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Promotion 2009

[3] **XAVIER LAGRANGE / PHILIPPE GODLEWSKI / SAMI TABBANE**, Réseau GSM/DCS, **Edition:** septembre 1996

[4] **Fabrice Valois**, « Architecture protocolaire des réseaux mobiles BSS », INSA de Lyon, Avril 2004

[5] **PETER KROPF**, « Global System for Mobile Communication Pierre Brisson », Université de Montréal

[6] « The evolution of EDGE », **Edition:** ERICSSON, Février 2007

[7] **HARRI HOLMA et ANTTI TOSKALA**, « UMTS les réseaux de troisième génération » **Edition:** "O.E.M"

[8] **ERIC MEURISSE**, « UMTS et le haut débit mobile », Février 2007

[9] **JHONG SAM LEE et LEONARD E.MILLER** « CDMA System Engineering HAND BOOK ».

[10] **DHOHA LAOUINI**, « Analyse de la capacité/couverture d'un réseau UMTS, Application pour le positionnement des sites », Ecole supérieure de télécommunication de Tunis, 2005/2006.

[11] **RAMZI REZGUI**, « Etude et proposition technique de migration optimale de réseau GSM vers l'UMTS », Ecole supérieure de télécommunication de Tunis, 2004/2005.

Sites et liens Internet:

<http://www.memoireonline.com/07/10/3741/Evolution-technologique-de-la-3G-et-3G.html>

<http://www.3gpp.org/>

<http://www.umts-forum.org/>

<http://www.tek.com/> http://www.tek.com/Masurement/signaling/index/nd-academy/UMTS_UTRAN_Signaling_Abstract.pdf

<http://www.rd.francetelecom.com/>

<http://www.telecom.gouv.fr/>

<http://www.recherche.gouv.fr/>

<http://www.awe-commucations.com>

<http://www.ars-sun1.ars.fh-weingaten.de/ta2001>

www.ac.tut.fi/aci/courses/7601010/2003_audi/pdf/Ch04_-_3G_wireless_systems.

<http://www.isoc-gfsi.org/mobile3G/index.html>

[Séminairwww.irisa.fr/cosi/SEMINAIRE/transparentes/WCDMA.pdf](http://www.irisa.fr/cosi/SEMINAIRE/transparentes/WCDMA.pdf)

www.e-technik.uni-kl.de/baier/Staff/Clos/further_info/wcdma/sld001.htm

www.ireste.fr/~jdiouris/setra/telecom/antennesadaptatives/op9.3/cdma/cdma

<http://bjazeron.free.fr/travail/cdma.html>

http://bertrand.fievet.free.fr/cdma_principes.html

<http://memoireonline.free.fr/thierrydanseUMTS.htm>

<http://www-mips.unice.fr/~clementc/umts/sommaire.html>

ANNEXE

1-Les interfaces de réseau GSM:

Les interfaces sont aussi des composants importants d'un réseau, ils supportent le dialogue entre les équipements et permettent leurs inters fonctionnements. La normalisation des interfaces garantie l'interopérabilité d'équipements hétérogènes produits par des constructeurs différents.

Nom	Localisation	Utilisation
Um	Terminal - BTS	Interface radio
Abis	BTS - BSC	Divers (transfert des communications...)
A	BSC - MSC	Divers (transfert de données)
B	MSC - VLR	Divers (transfert de données)
C	GMSC -HLR	Interrogation HLR pour appel entrant
D (1)	VLR - HLR	Gestion des informations d'abonnés et de localisation
D (2)	VLR - HLR	Services supplémentaires
E	MSC - MSC	Exécution des "handover"
F	MSC - EIR	Vérification de l'identité du terminal
G	VLR - VLR	Gestion des informations d'abonnés
H	HLR - AUC	Echange des données d'authentification

Interface radio U_m :

Il est localisé entre la station mobile (MS) et la station de base (BTS) c'est l'interface la plus importante du réseau. Au niveau physique l'interface U_m est la seule qui n'utilise pas la transmission de données à 64 Kbit/s, que le canal radio ne peut véhiculer.

Au deuxième niveau (liaison), il se singularise également par l'emploi d'un protocole adapté au traitement d'un canal à fort taux d'erreurs: le LAPDm.

ANNEXE

Interface Abis :

Cette interface relie la station de base à son contrôleur, la couche physique est définie par une liaison MIC à 2Mbit/s, la couche liaison de données est le protocole LAPD.

Dans une station de base, sur l'interface radio, un canal de phonie possède un débit de 13 Kbit/s, mais le débit d'un canal d'une liaison MIC est de 64 Kbit/s. Pour régler cette différence de débit on utilise le multiplexage de quatre canaux de phonie dans un canal MIC. Cette différence offre l'avantage de réduire les besoins et les coûts des supports de transmission entre les stations de bases et la station contrôleur.

Interface A :

L'interface A relie le sous système radio au sous système réseau, sa couche physique est définie par une ou plusieurs liaisons à 2 Mbit/s ainsi que sa couche liaison de données est le protocole CCITTn°7.

Les voies GSM sont restituées en voies MIC en utilisant des transcodeurs qui sont généralement installés entre le BSC et le sous système réseau. Les transcodeurs de parole adaptent le format de codage bas débit de la parole GSM utilisé sur les canaux radio à celui de réseau fixe. Pour exploiter de façon optimum les possibilités offertes par le codage bas débit de la parole de GSM, les transcodeurs sont les plus souvent installés sur les sites de commutation, mais parfois ils peuvent être sur les sites de BSC.

Interface X25 :

C'est l'interface qui relie d'une part l'OMC_N au sous système réseau à travers le réseau de données, d'autre part il relie le système OMC_R au sous système radio.

Interface E :

C'est la liaison inter MSC réalisée par une couche physique utilisant des circuits 2Mbit/s et une liaison de données utilisant le protocole CCITT n°7.

Interfaces B, C, D, G:

Elles gèrent une liaison de données entre les différentes entités composant le sous système réseau et le MSC.

- Interface B relie le registre des abonnés visiteurs au MSC.
- Interface C relie le registre des abonnés locaux au MSC.

ANNEXE

- Interface D relie les deux bases de données HLR et VLR.
- Interface G c'est la liaison inter VLR.

Interfaces passerelles :

C'est une interface entre le MSC et le réseau public s'appuie sur le protocole sémaphore CCITT n°7 et sont utilisées pour le transport du trafic et de données de signalisation.

2-Les interfaces réseau GPRS :

Nom de l'interface	Localisation	Utilisation	Protocole
Um	MS –BTS	Interface radio	
Abis	BTS – BSC	Divers	
Gb	BSC – SGSN	Divers	
Gc	GGSN - HLR	Interrogation HLR pour activation service	IP/SS7
Gd	SGSN-SMS-GMSC	Echange de messages courts	SS7
Gf	SGSN-EIR	Vérification de l'identité du terminal	SS7
Gi	GGSN-réseau de donnée	Transfert de données	IP
Gn	SGSN-SGSN	Gestion de l'itinérance	IP
Gp	BG-BG	Liaison inter-opérateur	IP
Gr	SGSN-HLR	La de gestion localisation	SS7
Gs	SGSN-MSC/VLR	Gestion coordonnées itinérance entre GSM et GPRS	SS7

Gb : Cette interface est définie entre la partie radio GSM (la BSS), adaptée pour supporter le GPRS et le sous-système GPRS (le SGSN).

Gs : Cette interface est définie entre le SGSN et le MSC/VLR est facultative, elle permet au SGSN d'envoyer par exemple des informations de localisation au MSC/VLR, gestion de localisation, et d'éviter des échanges avec de l'écho entre le mobile et le SGSN.

ANNEXE

Gn : Cette interface est définie entre deux nœuds GPRS appartenant au même réseau. Par exemple entre :

- **SGSN-SGSN :** gestion de l'itinérance,
- **SGSN-GGSN :** activation de contexte, transfert de données.

Gd : Cette interface est définie pour acheminer les SMS émis par un terminal mobile entre le GSM et le SGSN.

Gr : Entre le SGSN et le HLR, interface nécessaire pour la demande d'informations de localisation, gestion de localisation, concernant un terminal mobile.

Gc : Entre le GGSN et le HLR, nécessaire pour l'interrogation de HLR dans le but d'activer un contexte sur les données externes.

Gf : Cette interface relie un SGSN et un équipement de type EIR pour les échanges liés à l'identification du terminal.

Gi : Cette interface définie entre le GGSN et les réseaux de données de paquet externes permet les échanges entre les réseaux GPRS et le monde extérieur.

Gp : Cette interface définit la connexion entre deux PLMN (liaison inter-opérateurs).

3-Terme et Définition :

Bits par seconde (bit/s ou bps) : Vitesse de transmission de données, égale ou multiple (selon le procédé de modulation) de la vitesse d'échantillonnage (mesurée en bauds), indiquant le nombre d'informations transmises par unité de temps. Le débit en bit/sec est égale à n fois la rapidité de modulation (n est appelé valence du signal).

CDMA : Le CDMA consiste à attribuer aux interlocuteurs un code binaire qu'ils seront les seuls à utiliser pendant la durée de la communication. Les symboles numériques sont multipliés par cette séquence binaire. En réception seul le détenteur de ce code peut capter le signal et le traduire en clair.

Commutation : Sur un réseau de télécommunications, la fonction de commutation assure l'aiguillage du trafic en établissant des connexions temporaires entre deux ou plusieurs points

ANNEXE

du réseau. Cette opération s'effectue dans des équipements placés à différents endroits du réseau et appelés commutateurs. Ainsi, dans sa structure de base, un réseau de télécommunication est composé de supports de transmission connectés entre eux par des commutateurs. Les modes "paquet" ou "circuit" sont deux techniques de commutation utilisées par les réseaux de télécommunications. La première est par exemple utilisée par les réseaux Internet (IP), la seconde par les réseaux téléphoniques classiques (RTC).

Commutation par circuits : La voix, même numérisée, se prête peu au découpage en paquets car la conversion numérique / analogique nécessaire à la restitution du signal vocal au destinataire impose le strict respect d'une contrainte de temps (ex : La voie numérisée au débit de 64Kbit/s, équivalant à un échantillon d'un octet toutes les 125ms).

Donnée : Représentation d'une information sous une forme convenant à un traitement informatique.

Débit binaire : Rapidité, exprimée en bits par seconde, d'une transmission de signaux numériques.

IP (Internet Protocol) : Protocole de télécommunications utilisé sur les réseaux qui servent de support à Internet et permettant de découper l'information à transmettre en paquets, d'adresser les différents paquets, de les transporter indépendamment les uns des autres et de recomposer le message initial à l'arrivée. Ce protocole utilise ainsi une technique dite de commutation de paquets. Sur Internet, il est associé à un protocole de contrôle de la transmission des données appelé TCP (Transmission Control transmission) ; on parle ainsi du protocole TCP/IP.

PDA (Personnal Digital Assistant) : Micro ordinateur agenda de poche avec clavier ou avec écran tactile pour la gestion d'un répertoire, d'une liste de tâches et capable d'accueillir des applications compatibles PC et des opérations de synchronisation/mise à jour automatique avec un PC.

Protocole : Un protocole est un langage standard de communication entre deux machines permettant à des machines de types différents (ou dont le système d'exploitation est différent) de transférer des fichiers sur un réseau.

ANNEXE

Roaming : Il s'agit de transfert d'une communication du réseau d'origine à un autre réseau. Le client qui se déplace, en Europe par exemple, a la possibilité de garder le même numéro de téléphone. Cette itinérance internationale permet aux clients de bénéficier des mêmes services en Europe et d'être joint quelque que soient leur position.

Routage : Opération permettant, à l'établissement d'une communication voix ou données, de déterminer, parmi tous les chemins possibles qu'offre le ou les réseaux, le trajet à affecter à cette communication.

WAP : La technologie WAP a pour but de permettre a des terminaux mobiles (les téléphones portables par exemple) d'accéder a des documents circulant par des réseaux sans fil. Il s'agit donc de permettre à n'importe quel terminal mobile de pouvoir formater des documents.