

Global System for Mobile Communication (GSM)

Pierre Brisson
Peter Kropf

Université de Montréal

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	2
2. SYSTÈME CELLULAIRE.....	3
3. ARCHITECTURE D'UN RÉSEAU GSM.....	4
4. RÉGIONS GÉOGRAPHIQUES D'UN RÉSEAU GSM.....	8
5. FONCTIONS D'UN SYSTÈME GSM.....	9
6. INTERFACE RADIO.....	14
7. TROISIÈME GÉNÉRATION.....	22
8. RÉFÉRENCES.....	23

1. INTRODUCTION

GSM (Global System for Mobile Communication)¹ est une norme élaborée au cours des années '80 et '90, et qui est toujours en évolution afin de définir les paramètres pour un réseau de communication cellulaire numérique. La norme GSM est utilisée pour les réseaux de communication sans fil à travers le monde. Cependant, en Amérique du Nord elle est en concurrence avec la norme IS-95 (CDMA). Il existe un réseau GSM au Canada et il est exploité par Microcell (FIDO).

L'idée d'un système radio mobile basé sur une structure cellulaire a été élaborée au début des années '70, dans les laboratoires de Bell aux USA. Cependant, ce n'est qu'au cours des années '80 qu'on a vu l'implantation et l'exploitation commerciale de réseaux de téléphones cellulaires analogues.

Chaque pays avait dû développer son propre réseau ce qui ne permettait pas à un abonné d'un pays d'utiliser son téléphone dans un autre. Cette situation était particulièrement critique en Europe où les passages d'un pays à l'autre sont fréquents. Parallèlement, le marché des équipements était limité, ce qui empêchait les économies d'échelles.

Voyant la croissance des réseaux cellulaires, on anticipait des problèmes de capacité. En 1982 le Groupe Spécial Mobile fut créé afin d'élaborer une norme pour un réseau de communication mobile pan-européen répondant aux critères suivants:

- n Bonne qualité subjective de la voix;
- n Baisse des coûts des équipements et des services;
- n Passage d'un pays à l'autre sans interruption de service;
- n Habilité pour supporter de nouveaux services;
- n Utilisation efficace du spectre de fréquences;
- n Compatibilité avec d'autres systèmes, dont RNIS.

Le groupe opta pour un réseau numérique pour trois raisons principales:

1. Capacité; pour répondre à la croissance de la demande de nouvelles bandes de fréquences auraient été nécessaires aux systèmes analogiques, ce à quoi plusieurs pays se sont opposés en raison du spectre restreint. De nouvelles technologies analogues furent proposées mais leurs coûts étaient très élevés.
2. Compatibilité avec d'autres systèmes; l'industrie des télécommunications venait de se convertir à la technologie numérique avec, entre autres, le réseau RNIS.

¹ Au début, GSM signifiait *Groupe Spécial Mobile*

3. Qualité de la voix; les réseaux analogiques mobiles font face à des problèmes de perturbations radio ce qui entraîne une baisse de la qualité du signal reçu. La transformation du signal en bits, combinée à d'autres techniques prévient ces problèmes.

En 1990, après un transfert de responsabilité du groupe qui change de nom pour Global System for Mobile communication (même acronyme GSM) la phase I de la norme est publiée et l'ère des communications mobiles numériques débute à la mi-91. Au début de 1994, on comptait 1.3 millions d'abonnés, 5 millions au début de 1995 et 55 millions en octobre 1997.

Plusieurs extensions de GSM ont été définies depuis. Elles ont surtout pour but d'augmenter le débit binaire. On peut mentionner :

- **HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)**
- **GPRS (General Packet Radio Service)**
- **EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)**

2. SYSTÈME CELLULAIRE

Dans un système cellulaire, la région couverte est divisée en cellule, comme illustré à la figure 1. Une cellule est de forme circulaire mais dépend en réalité de la topographie de la région qui est servie par l'antenne de la cellule. Pour plus de clarté, on peut les illustrer par des hexagones. Au centre d'une cellule on retrouve un ou un ensemble d'émetteurs-récepteurs correspondant à une bande de fréquences.

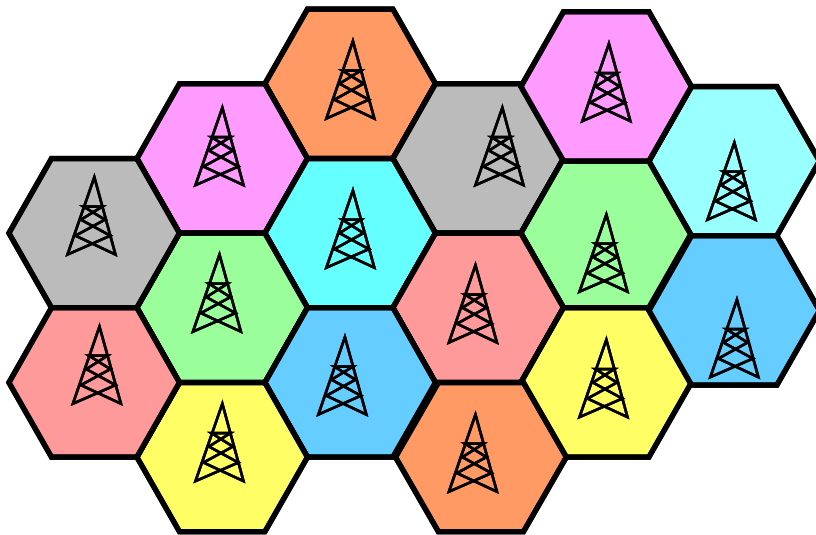


Figure 1

La dimension d'une cellule est fonction de la puissance de son émetteur-récepteur. Si un émetteur-récepteur est très puissant, alors son champ d'action sera très vaste, mais sa bande de fréquence peut être rapidement saturée par des communications. Par contre, en utilisant des cellules plus petites, (émetteur-récepteur moins puissant) alors la même bande de fréquence pourra être réutilisée plus loin, ce qui augmente le nombre de communications possibles.

Dans la conception d'un réseau cellulaire, il faut considérer les aspects suivants:

- n La topographie (bâtiments, collines, montagnes, etc.)
- n La densité de la population (ou de communications) pour établir la dimension de cellule.
- n Deux cellules adjacentes ne peuvent utiliser la même bande de fréquence afin d'éviter les interférences. La distance entre deux cellules ayant la même bande doit être de 2 à 3 fois le diamètre d'une cellule.

La taille des cellules peut varier entre 0.5 et 35 km et dépend de la densité d'utilisateur et de la topographie. Les cellules sont regroupées en bloc (appelé motif ou cluster). Le nombre de cellules dans un bloc doit être déterminé de manière à ce que le bloc puisse être reproduit continuellement sur le territoire à couvrir. Typiquement, le nombre de cellules par bloc est de 4,7,12 ou 21. La forme et la dimension des blocs et le nombre de cellules est fonction du nombre de fréquences (canaux) disponibles.

3. ARCHITECTURE D'UN RÉSEAU GSM

Un réseau GSM compte une (ou plusieurs) station de base par cellule. La station mobile choisit la cellule selon la puissance du signal. Une communication en cours peut passer d'une cellule à l'autre permettant ainsi la mobilité des utilisateurs. Les composantes principales sont :

- n Le contrôleur de station de base : BSC - Base Station Controller
- n La station de base : BTS - Base Transceiver Station
- n Le commutateur de service mobile : MSC - Mobile Switching Center

La figure 2 montre un système GSM et la figure 3 illustre l'architecture de GSM
On peut diviser le réseau en 4 parties principales :

1. La station mobile : MS - Mobile Station
2. Le sous-système radio : BSS - Base Station Subsystem
3. Le sous-système réseau : NSS – Network Subsystem
4. Le sous-système opération : OSS – Operation Subsystem

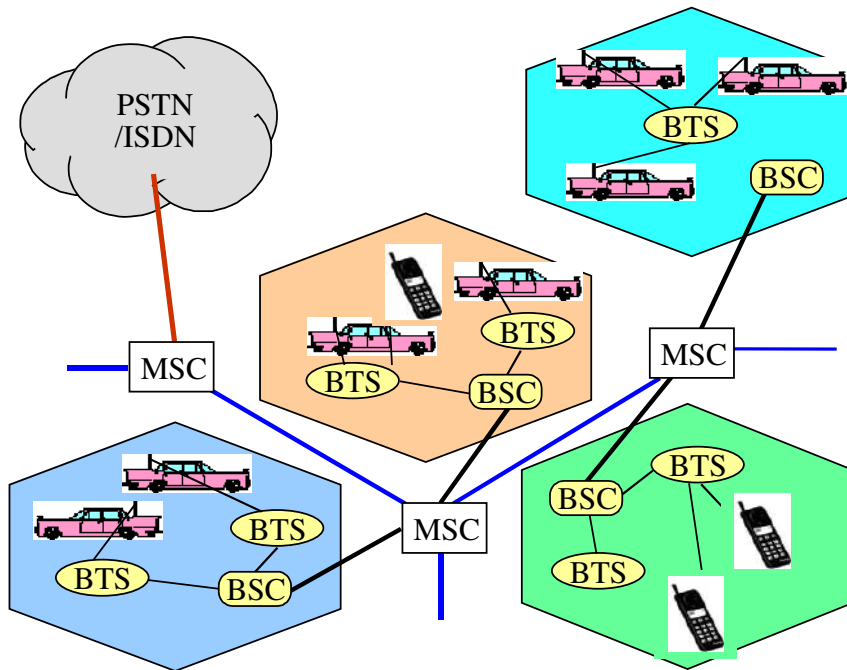


Figure 2

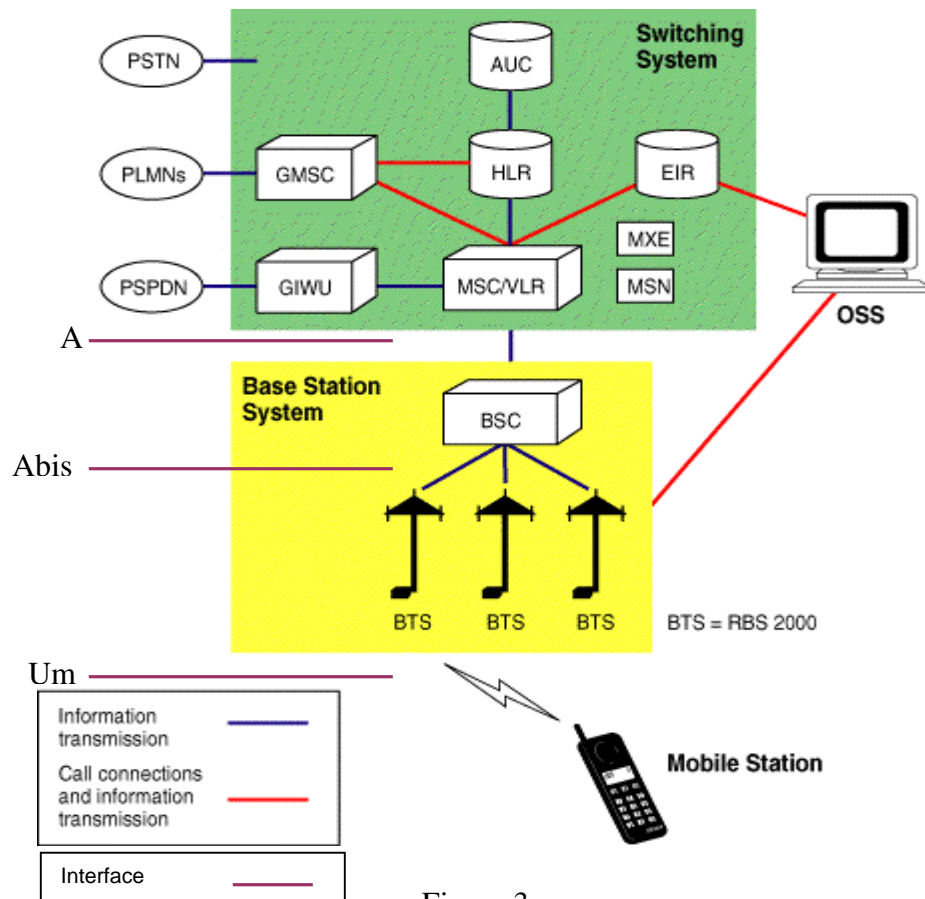


Figure 3

3.1 Station mobile (MS – Mobile Station)

La station mobile est composée d'une part du terminal mobile, et d'autre part du module d'identité d'abonné (SIM – Subscriber Identity Module).

Le terminal mobile est l'appareil utilisé par l'abonné. Différents types de terminal sont prescrits par la norme en fonction de leur application (fixé dans une voiture, portatif) et de leur puissance (de 0.8W à 20W). Chaque terminal mobile est identifié par un code unique IMEI (International Mobile Equipment Identity). Ce code est vérifié à chaque utilisation et permet la détection et l'interdiction de terminaux volés.

Le SIM est une carte à puces qui contient dans sa mémoire le code IMSI (International Mobile Subscriber Identity) qui identifie l'abonné de même que les renseignements relatifs à l'abonnement (services auxquels l'abonné a droit). Cette carte peut être utilisée sur plusieurs appareils. Il est à noter que l'utilisateur ne connaît pas son IMSI mais il peut protéger sa carte à puce à l'aide d'un numéro d'identification personnel à 4 chiffres.

3.2 Le sous-système radio (BSS – Base Station System)

Le sous-système radio comprend 2 parties. La première, appelée station de base (BTS - Base Transceiver Station), consiste en un ou un ensemble d'émetteurs-récepteurs et leur antenne. Généralement, une BTS est associée à une cellule et est située au centre de celle-ci. La communication entre la station mobile et la station de base est réalisée par l'interface Um, appelé aussi interface air ou lien radio.

La seconde partie est le contrôleur de station de base (BSC – Base Station Controller) dont le rôle est de gérer les ressources radio (configuration des canaux, transfert intercellulaire) d'une ou plusieurs stations de base (BTS), en plus d'établir le lien physique (via l'interface A) entre les BTS et le commutateur de service mobile (MSC - Mobile Switching Center), que nous verrons dans la section suivante.

3.3 Le sous-système réseau (NSS)

Le rôle principal de ce sous-système est de gérer les communications entre les abonnés et les autres usagers qui peuvent être d'autres abonnés, des usagers sur le réseau RNIS ou des usagers de réseaux téléphoniques fixes.

3.3.1 Commutateur de service mobile (MSC - Mobile Switching Center)

Cet élément peut être considéré comme le cœur d'un système cellulaire puisqu'il fait la gestion des appels et de tout ce qui est lié à l'identité des abonnés, à leur

enregistrement et à leur localisation. Le MSC agit en somme comme un nœud d'un réseau commuté.

3.3.2 Commutateur d'entrée de service mobile (GMSC – Gateway MSC)

Ce commutateur est l'interface entre le réseau cellulaire et le réseau téléphonique publique. Le GMSC est chargé d'acheminer les appels du réseau fixe à un usager GMS.

3.3.3 Registre des abonnés locaux (HLR – Home Location Register)

Il s'agit d'une base de données contenant les informations sur les abonnés appartenant à la région desservie par le commutateur de services mobiles (MSC). Cette base de données contient également la position courante de ses abonnés.

3.3.4 Registre des abonnés visiteurs (VLR – Visitor Location Register)

Cette base de données contient temporairement des informations sur les abonnés qui visitent une région desservie par un MSC autre que celui auquel ils sont abonnés. Ces informations proviennent du HLR auquel l'abonné est enregistré et indiquent les services auxquels l'abonné a droit. Ce transfert d'informations se fait qu'une seule fois et n'est effacé que lorsque l'abonné ferme son appareil ou quitte la région du MSC courant. En procédant ainsi, le VLR n'a pas à interroger le HLR chaque fois qu'une communication est demandée par ou pour l'abonné visiteur. Il est à noter que le VLR est toujours associé à un MSC.

3.3.5 Centre d'authenticité (AuC – Authentication Center))

Le AuC est une base de données protégée qui contient une copie de la clé secrète inscrite sur la SIM de chaque abonné. Cette clé est utilisée pour vérifier l'authenticité de l'abonné et pour l'encryptage des données envoyées.

3.3.6 Registre d'identification d'équipement (EIR – Equipment Identity Register)

Comme nous l'avons vu précédemment, chaque terminal mobile est identifié par un code IMEI. Le registre EIR contient la liste de tous les terminaux valides. Une consultation de ce registre permet de refuser l'accès au réseau à un terminal qui a été déclaré perdu ou volé.

3.3.7 Unité de transfert GSM (GIWU)

Le GIWU correspond à une interface à divers réseaux pour les communications de données. Au cours de ces communications, la transmission de la voix et des données peut alterner.

3.4 Sous-système opération (OSS)

Ce sous-système est branché aux différents éléments du sous-système réseau de même qu'au contrôleur de station de base (BSC). Par une vue d'ensemble du réseau le OSS contrôle et gère le trafic au niveau du BSS.

4. RÉGIONS GÉOGRAPHIQUES D'UN RÉSEAU GSM

La figure 4 ci-dessous illustre les différentes zones géographiques auxquelles on peut relier un réseau GSM.

Une cellule correspond à la région couverte par une station de base (BTS). Une région de repérage (LA – Location Area) est un groupe de cellules. C'est la région par laquelle on localise un abonné. Chaque LA est servi par un ou plusieurs contrôleurs de station de base (BSC), mais par un seul MSC (voir la figure 5).

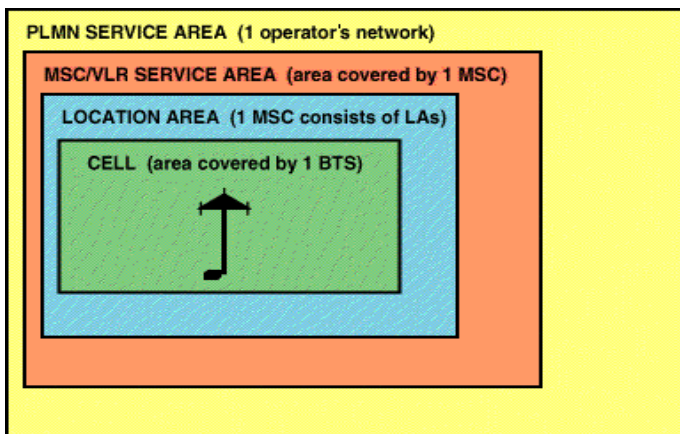


Figure 4

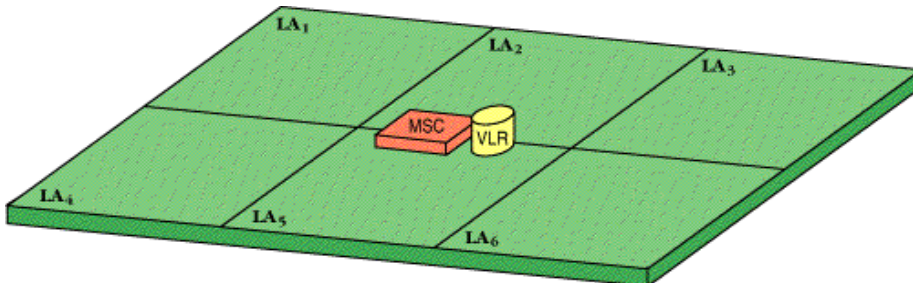


Figure 5

Une région de service MSC/VLR est un groupe de LA sous le contrôle d'un seul MSC. La figure 6 illustre un ensemble de régions de services MSC/VLR.

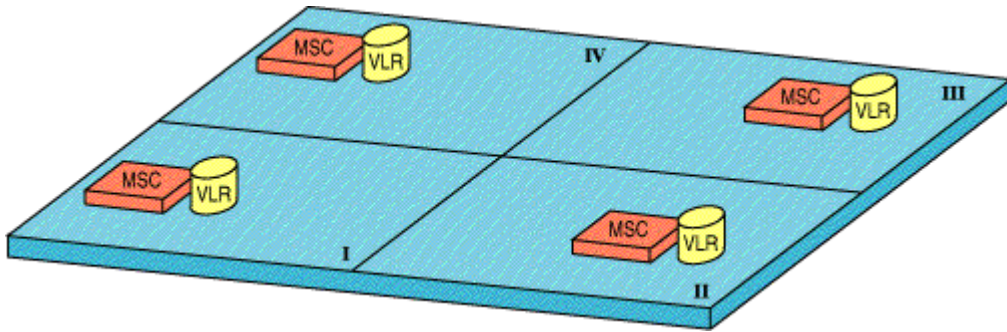


Figure 6

Finalement, un Réseau mobile d'une région public (PLMN) est la région desservie par un opérateur de réseau (voir la figure 7).

Par exemple, un exploitant de réseau pourrait avoir un PLMN pour la région de Vancouver, un autre couvrant les Prairies, un pour Toronto, un suivant pour le Québec et un dernier pour les Maritimes. Il est à noter que les liens physiques entre les villes peuvent être loués à l'exploitant du réseau cellulaire.

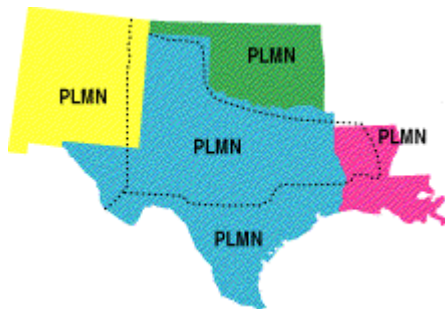


Figure 7

5. FONCTIONS D'UN SYSTÈME GSM

Les fonctions que doit remplir un réseau GSM comprennent non seulement la transmission de données mais également l'enregistrement, l'authentification, le routage et la mise à jour de la localisation. Ces fonctions sont réalisées par le sous-système réseau en utilisant le Mobile Application Part (MAP) construit au-dessus du protocole No. 7 du Système de Signalement (SS-7)

Le protocole de signalement est structuré en couches comme illustré à la Figure 8. La couche 1 est celle de la transmission qui utilise la structure de canaux dont les explications seront données à la section 6.3. La deuxième couche est celle des données; le protocole de celle-ci pour l'interface radio est similaire à celui de la ligne RNIS. La troisième couche est divisée en trois sous-couches dont on verra une brève description de chacune.

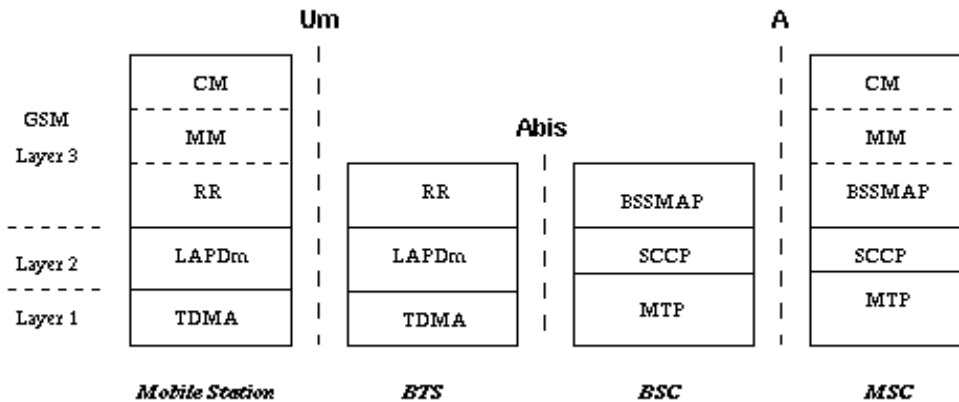


Figure 8

Les fonctions que nous verrons sont:

- n Transmission;
- n Gestion des ressources radio (RR – Radio Resource);
- n Gestion de la mobilité (MM – Mobility Management);
- n Gestion de la communication (CM – Communication Management);
- n Opération, administration et entretien (OAM – Operation, Administration and Management).

5.1 Transmission

Cette fonction comprend deux sous-fonctions:

- n La première est reliée aux moyens requis pour la transmission de l'information de l'utilisateur.
- n La deuxième est reliée aux moyens requis pour la transmission de l'information de signalement.

Les éléments impliqués pour ces fonctions sont la station mobile (MS), la station de base (BS) et le contrôleur de station de base (BSC). Des aspects importants de la transmission seront vus à la section 7.

5.2 Gestion des ressources radio (RR)

Le rôle de cette fonction est d'établir, maintenir et libérer un lien entre la station mobile et le commutateur de service mobile (MSC). Les composantes les plus impliquées sont la station mobile (MS) et la station de base (BS). Par ailleurs, le MSC est impliqué dans une sous-fonction du RR qui est le transfert de communication intercellulaire (handover).

Les principales procédures permettant de remplir ces responsabilités sont:

- n Assignation, changement et libération d'un canal de communication (fréquence);
- n Transfert de communication intercellulaire (handover);
- n Sauts de fréquence (Frequency hopping), 217 sauts par seconde
- n Contrôle du niveau de puissance;
- n Transmission et réception interrompue;
- n "Timing advance".

Quelques-unes de ces procédures seront décrites à la section 6. À ce moment, seul la procédure de transfert intercellulaire, l'une des plus importantes de la fonction RR, est présentée ici.

5.2.1 Transfert de communication intercellulaire (handover/handoff)

Le fait qu'un abonné se déplace peut engendrer le besoin de changer de canal (fréquence) et/ou de cellule, spécialement lorsque la qualité de la communication se détériore. La procédure de changement de canal est appelée transfert de communication intercellulaire. On retrouve 4 types de transfert.

- n Transfert de canal dans une même cellule;
- n Transfert de cellules contrôlé par la même BSC;
- n Transfert de cellules appartenant au même MSC, mais contrôlé par différents BSC;
- n Transfert de cellules contrôlé par des MSC différents.

Les deux premiers types de transfert sont dits internes car seul la BSC est impliquée pour ceux-ci. En faisant appel seulement au BSC pour la gestion de ce transfert, on sauve de la largeur de bande de signalement; le MSC n'est pas impliqué, sauf à la fin du transfert pour être avisé que celui-ci est complété.

Les deux autres types de transfert, appelés externes, sont gérés par les MSC impliqués. Un aspect important de la norme GSM est que le MSC original, le MSC d'attache, demeure responsable pour la plupart des fonctions reliées aux

appels, à l'exception d'un transfert subséquent à un autre BSC sous le contrôle d'un nouveau MSC, ce dernier appelé MSC de relais.

Un transfert intercellulaire peut être initié aussi bien par une station mobile que par un MSC (comme moyen pour équilibrer le trafic d'appels). Pour initier un transfert, la station mobile contrôle continuellement la puissance de son signal auprès des cellules environnantes. La liste de cellules avec lesquelles la station mobile teste est fournie par la station de base. La mesure de la puissance permet de décider laquelle des cellules est la meilleure, de manière à maintenir la qualité du lien de communication. Deux algorithmes de base sont utilisés pour le transfert intercellulaire.

- n L'algorithme de la "performance minimum acceptable"; lorsque la qualité de la transmission diminue, le niveau de puissance de la station mobile est augmenté jusqu'à ce que cette augmentation n'ait plus d'effet sur la qualité du signal. Alors, un transfert est réalisé.
- n L'algorithme de "l'économie de puissance"; cet algorithme effectue un transfert au lieu d'augmenter la puissance, de manière à obtenir une communication de qualité.

5.3 Gestion de la mobilité (MM)

Cette fonction a la responsabilité de tous les aspects touchant la mobilité d'un usager, en particulier la gestion de la localisation, l'authenticité et la sécurité.

5.3.1 Gestion de la localisation

La première localisation appelée procédure d'attache IMSI, a lieu lorsqu'un terminal mobile est ouvert.

Par la suite, lorsque la station mobile change de LA ou de PLMN, il initie une mise à jour en envoyant un message au nouveau MSC/VLR. Ce dernier envoie un message au HLR de l'abonné pour que le registre de la position courante soit ajustée.

Il est à noter qu'une mise à jour de la localisation est effectuée périodiquement. Si après un certain délai la station mobile ne s'est pas manifestée, elle est alors désenregistrée. À la fermeture d'une station mobile, une procédure de détachement IMSI est réalisée.

5.3.2 Authenticité et sécurité

On retrouve deux procédures d'authentification. La première se fait sur l'abonné et la deuxième sur l'équipement.

L'authentification de l'abonné implique le module d'identité de l'abonné (SIM) et le centre d'authenticité (AuC). Chaque abonné reçoit un code secret qui est inscrit sur son SIM, et au AuC. Lors de la procédure d'authentification, le AuC génère un nombre aléatoire qui est envoyé à la station mobile. À l'aide d'un algorithme chiffré identifié A3, les deux unités calculent une réponse de signature (SRES) et un résultat identique aux deux endroits indique l'authenticité de l'utilisateur.

Au niveau de l'équipement, comme nous l'avons vu précédemment, chaque station mobile est identifiée par un numéro IMEI. Ce numéro est comparé aux listes contenues au registre d'identification d'équipement (EIR). Les numéros EIMI sont classés en trois catégories.

- n liste blanche: le terminal peut être branché au réseau;
- n liste grise: le terminal est sous observation pour des problèmes potentiels;
- n liste noire: le terminal a été rapporté volé ou perdu ou n'est pas d'un type approuvé et est alors refusé sur le réseau.

5.4 Gestion des communications (CM)

Cette fonction est responsable du contrôle des appels (CC – Call Control), de la gestion des services supplémentaires et de la gestion des services de court message (SMS – Short Message Service)². Seule la première responsabilité sera couverte.

5.4.1 Contrôles des appels

Le CC (Call Control) est responsable de l'établissement, du maintien et de la libération des appels. Une des fonctions la plus importante du CC est le routage des appels. Pour rejoindre un abonné mobile, un utilisateur compose le numéro d'abonné mobile RNIS (MSISDN) qui inclut:

- n le code du pays;
- n le code national de destination identifiant l'opérateur du réseau de l'abonné à joindre;
- n le code de l'abonné enregistré au HLR.

² Service bidirectionnel pour des courts messages alphanumériques (160 Bytes au plus)

La figure 9 illustre le routage d'une communication d'une station fixe vers une station mobile.

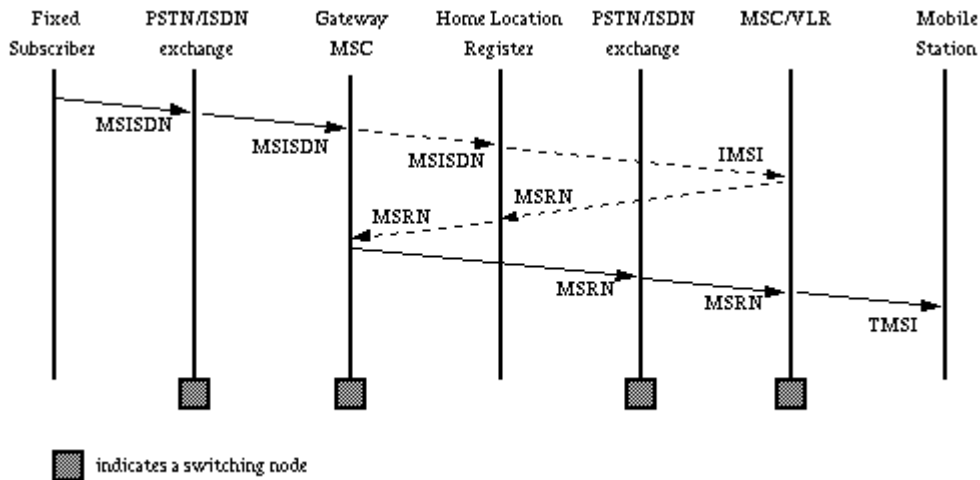


Figure 9

Le MSISDN (Mobile Subscriber ISDN) se rend jusqu'au GMSC (Gateway MSC) qui est un commutateur qui interroge le HLR de l'abonné pour obtenir l'information de routage. Le HLR demande l'information du VLR courant, et le dernier alloue un numéro d'itinérance de station mobile (MSRN – Mobile Station Roaming Number) pour cet appel, et ce numéro est retourné au HLR qui renvoie au GMSC. L'appel est alors acheminé vers le MSC courant. Puis, en vérifiant IMS correspondant au MSRN, il se rend jusqu'à la station mobile.

5.5 Opération, administration et entretien (OAM)

Cette fonction permet à l'opérateur du réseau de contrôler le système en plus de modifier la configuration des éléments du système. Le OSS est la clé centrale mais le sous-système radio (BSS) et le sous-système réseau (NSS) contribuent à cette fonction en fournissant de l'information au OSS, en plus d'effectuer des tests eux-mêmes.

6. INTERFACE RADIO

Cette interface est celle entre la station mobile et l'infrastructure fixe. Elle est appelée Um. C'est l'une des interfaces les plus importantes d'un système GSM.

Afin d'obtenir une compatibilité entre les stations mobiles et les différents réseaux pour permettre l'itinérance, c'est primordial de définir complètement cette interface.

6.1 Allocation des fréquences

La norme GSM a connu une évolution. La première génération utilise la bande de fréquence des 900 MHz, alors que la 2^{ème} génération utilise la bande des 1800 MHz³.

Chaque canal radio comprend un couple de deux canaux (ou bandes de fréquences), l'un pour la transmission des signaux de la station de base vers les stations mobiles, le canal descendant, l'autre pour la transmission des signaux des stations mobiles vers la station de base, le canal montant. GSM exploite à la fois les techniques SDMA, FDMA et TDMA (espace, fréquence, temps).

Les caractéristiques de chaque génération sont données au tableau suivant:

	GSM - 900	GSM - 1800
Bande spectrale - canaux descendant	935 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz
Bande spectrale - canaux montant	890 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz
Espacement entre les canaux d'un couple	45 MHz	95 MHz
Nombre de canaux (multiplexage FDMA)	124	374
Largeur des canaux	200 KHz	200 KHz
Multiplexage TDMA	8	8
Nombre de canaux logiques	992	2992

Il est à noter que ce ne sont pas tous les pays qui peuvent utiliser toutes les bandes spectrales en raison d'applications militaires et d'une utilisation déjà réservée pour les systèmes cellulaires analogiques. De plus, si dans un pays donné plusieurs compagnies exploitent un réseau numérique, alors chacun aura une bande de fréquences différentes afin de prévenir les chevauchements.

On constate que la bande spectrale est multiplexé en fréquence (FDMA) pour obtenir plusieurs canaux et chacun de ces canaux est multiplexé selon une technique temporelle (TDMA) d'ordre 8.

Lors de l'établissement d'une communication, une fréquence est allouée à l'utilisateur selon le FDMA, de même qu'une slot selon le TDMA. On peut donc avoir 8

³ Il existe également la version PCS-1900 MHz déployée en Amérique du Nord

communications simultanément sur un même canal. La figure 10 ci-dessous illustre par les carrés gris les slots qu'une communication occupe pour une période de temps. Pour cet exemple les fréquences 935.4 et 890.4 MHz et la slot 2 ont été alloués.

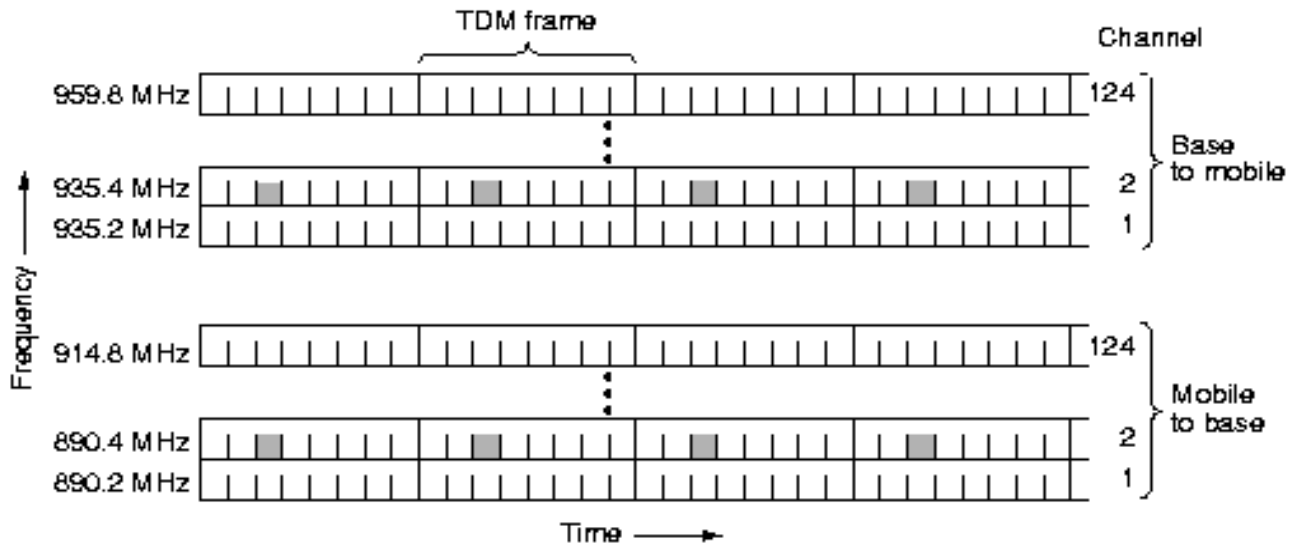


Figure 10

6.2 Trame TDMA

La figure 10 indique que les données sont assemblées sous la forme de trame. Un groupe de trame est appelé multitrame. On peut avoir deux types de multitrames: l'une avec 26 trames TDMA et l'autre avec 51 trames. Cette dernière multitrame est utilisée pour la signalisation. La figure 11 donne la structure et la hiérarchie d'une multitrame 26.

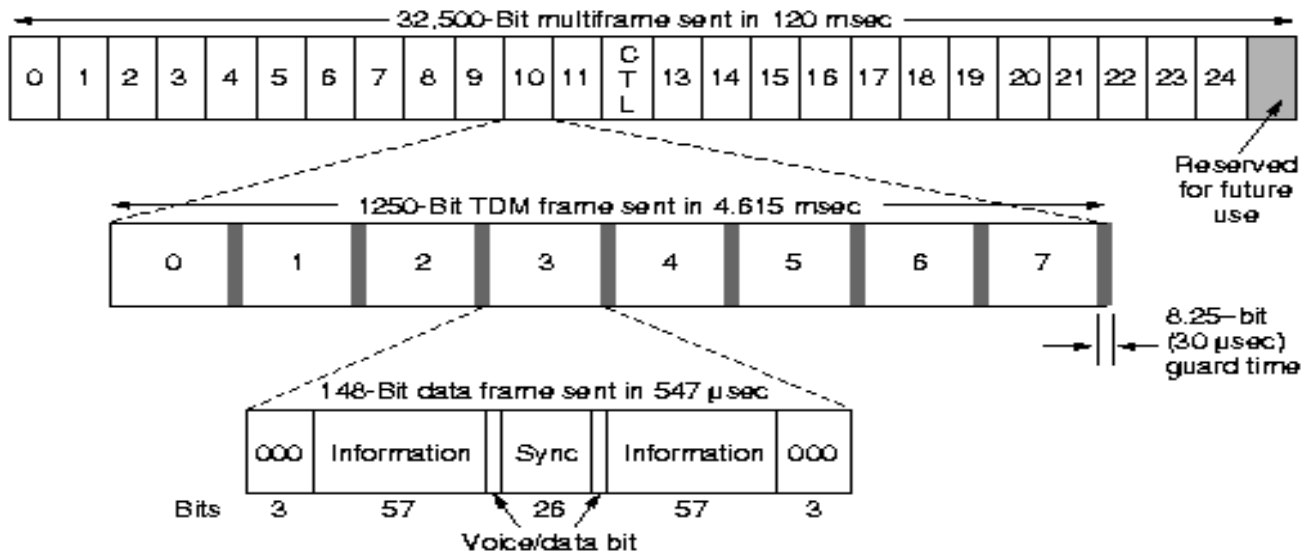


Figure 11

Chaque slot d'une trame TDMA contient une structure de données de 148 bits appelée trame de données, qui correspond à l'unité de données de transmission radioélectrique. On remarquera qu'une slot comprend également un temps de garde de 30 µsec qui correspond à 8.25 bits. Cet espace de temporel de silence a pour but de prévenir des chevauchements de transmission de trames de données entre les stations mobiles.

Chaque trame de données est délimitée par un groupe de 3 bits au début et à la fin de celle-ci. Ces bits sont utilisés pour couvrir les périodes de montée et de descente de puissance de la station mobile.

La trame de données contient deux champs Information de 57 bits, chacun étant associé à un champ Contrôle de 1 bit, spécialement si l'information attachée est une donnée utile (bit 0) ou une donnée de signalisation (bit =1). Il est à noter que l'information des champs Information est chiffrée (encryptée).

Un champ Synchronisation de 26 bits entre les deux champs Information permet au récepteur de se synchroniser avec la trame de données de l'émetteur.

Le temps de transmission d'une trame de données est 577 µsec. Une station mobile ne peut transmettre qu'une trame de données toutes les 4,615 msec (ce qui est la durée d'une trame TDMA) sachant qu'il partage le canal radio avec 7 autres terminaux mobiles. C'est donc dire que le débit brut de chaque canal est de 270 kbps. Donc le débit réel pour chaque usager est 33.8 kbps mais le débit effectif est 24.7 kbps.

On remarquera que la trame TDMA no. 12 est utilisée pour le contrôle alors que la trame TDMA no. 26 est réservée pour de futures extensions.

Nous venons de voir la trame normale qui est utilisée pour transporter la voix ou des données. Cependant il existe trois autres types de trame qui sont utilisés sur des canaux de contrôle. Nous verrons à la section suivante les différents types de canaux que GSM définit. Les différentes trames sont:

- n Trame de correction de fréquence qui est utilisée sur le canal FCCH (Frequency Correction Channel); cette trame a la même longueur qu'une trame normale mais sa structure est différente;
- n Trame de synchronisation qui est utilisée sur le canal SCH (Synchronisation Channel); cette trame a la même longueur qu'une trame normale mais sa structure est différente;
- n Trame d'accès aléatoire qui est utilisée sur le canal RACH (Random Access Channel) et dont la longueur est plus courte que celle d'une trame normale.

6.3 Structure de canaux

Les canaux sont définis par leur fréquence de même que par le numéro et la position de la trame correspondante à l'intérieur d'une trame TDMA. On retrouve dans un système GSM deux types de canaux:

- n Les canaux de trafic pour le transport de la voix et des données;
- n Les canaux de contrôle pour la gestion des messages dans le réseau et des opérations d'entretien.

6.3.1 Canaux de trafic (TCH – Traffic Channel)

Les canaux de trafic (TCH) sont définis par l'utilisation de multitrame (voir section 6.2). Dans la structure de multitrame, les canaux de trafic pour la communication descendante et ascendante sont décalés de 3 trames, ce qui signifie que la station mobile n'a pas à émettre et à recevoir en même temps. Cet attribut simplifie considérablement l'électronique du système.

La trame 12 de la multitrame a une fonction de contrôle et est utilisée par le canal SACCH (Slow Associated Control Channel). Ce canal, dit canal de signalisation, est associé en permanence au TCH et permet principalement la supervision physique de la liaison radio.

6.3.2 Canaux de contrôle

Selon leurs fonctions, 3 classes de canaux de contrôle sont définies:

- n Canaux à diffusions (BCH – Broadcast Control Channel): diffusion permanente vers les stations mobiles d'information pour leur permettre de se synchroniser avec le réseau (identification de la station de base fréquente). Le canal FCCH (Frequency Correction Channel) qui fournit la fréquence de référence et le canal SCH (Synchronisation Channel) qui fournit la fréquence d'entraînement pour la démodulation, appartiennent à cette catégorie;
- n Canaux de communication dédiés (DCCH – Dedicated Control Channel): canaux utilisés pour la mise à jour de la localisation et pour l'enregistrement et la génération d'appels mobiles;
- n Canaux de contrôle associé (FACCH): ces canaux remplacent tout ou en partie le canal de trafic lorsqu'une information de signalement urgente doit être transmise. Ce canal est associé au bit = 1 du champ contrôle de la trame normale.

6.4 De la source d'information aux ondes radio

La figure 12 illustre les étapes qui doivent être réalisées à l'intérieur d'une station mobile afin d'envoyer un signal numérique sur les ondes radio au réseau GSM, et de recevoir ce même signal.

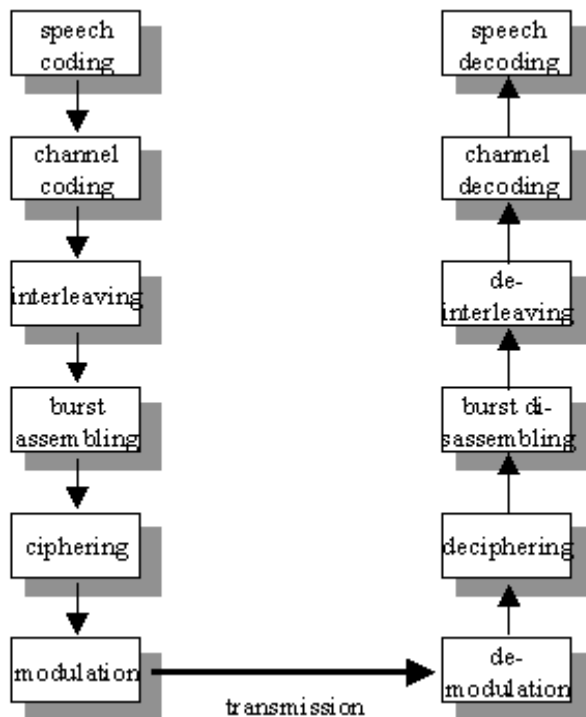


Figure 12

6.4.1 Codage de la voix

La voix étant par nature un signal analogique doit être numérisée. Plusieurs algorithmes de codage de la voix ont été étudiés et celui retenu porte le nom RPE-LTP (Regular Pulse Excitation Long Term Prediction). Cet algorithme utilise l'information de l'échantillon de voix précédent, information qui ne change pas rapidement, pour prédire l'échantillon courant. La voix est divisée en échantillons de 20 msec. Chacun de ces échantillons est traité par l'algorithme qui traite l'information à un rythme de 13kbps pour obtenir des blocs de 260 bits.

6.4.2 Codage du canal

Cette étape consiste à ajouter des bits de redondance à l'information de l'étape précédente de manière à détecter et corriger si possible les erreurs.

Ce codage varie en fonction du canal auquel l'information est destinée. Nous allons considérer un signal de voix destiné à un canal dit de voix.

Avant d'être traité par le codage du canal, les 260 bits de la trame de voix sont divisés en 3 classes selon leur fonction et leur importance. Par des tests subjectifs, on a établi que certains bits sont plus importants pour la perception de la qualité de la voix que d'autres:

- n Classe Ia 50 bits: les plus sensibles aux erreurs de bit;
- n Classe Ib 132 bits: sensibilité modérée aux erreurs de bit;
- n Classe II 78 bits: sensibilité la plus faible aux erreurs de bit.

Trois bits de parité sont ajoutés aux bits de la Classe Ia. Ces 53 bits sont ajoutés à la Classe Ib. À ces 185 bits, on ajoute 4 bits mis à 0. On applique un code de convolution avec $I=0.5$ et $K=4$ pour obtenir un bloc de sortie de 378 bits. On ajoute les bits de la Classe II pour obtenir un bloc de 456 bits. Donc, pour chaque 20 ms de voix, on obtient 456 bits, soit un débit de 22.8 Kbps.

6.4.3 Entrelacement

Cette opération réarrange un groupe de bits d'une manière particulière. Le but à atteindre est de disperser les erreurs qui deviennent plus faciles à corriger. Il est à noter que la possibilité de perdre une trame complète est très faible avec ce traitement.

Reprenons le traitement de notre bloc de 456 bits provenant de la voix. Ce bloc est divisé en 8 blocs de 57 bits (la dimension du champ Information d'une trame TDMA). Ces 8 blocs sont placés selon un certain ordre dans les trames.

6.4.4 Assemblage de la trame

À ce niveau, la trame est formée de la manière décrite à la section 6.2.

6.4.5 Chiffrement

Le chiffrement est utilisé pour protéger les données de signalement et celles de l'utilisateur. Les étapes sont:

- 1- Calcul d'une clé de chiffrement à l'aide de l'algorithme A8, mise sur le module d'identité d'abonné (SIM), de la clé de l'abonné et un nombre aléatoire généré par le réseau.
- 2- Une séquence de 114 bits est produite en utilisant la clé de chiffrement, l'algorithme A5 et les numéros de trames.
- 3- Cette séquence est "XORed" avec les 2 blocs de 57 bits de données inclus dans la trame normale.

Le récepteur doit utiliser l'algorithme A5 pour déchiffrer le tout.

6.4.6 Modulation

La modulation choisie pour GSM est le "Gaussian Modulation Shift Keying" (GMSK). Ce type de modulation a été choisi car il représentait un bon compromis entre l'efficacité spectrale, la complexité et de faibles radiations nuisibles. La figure 13 présente le principe du modulateur GMSK.

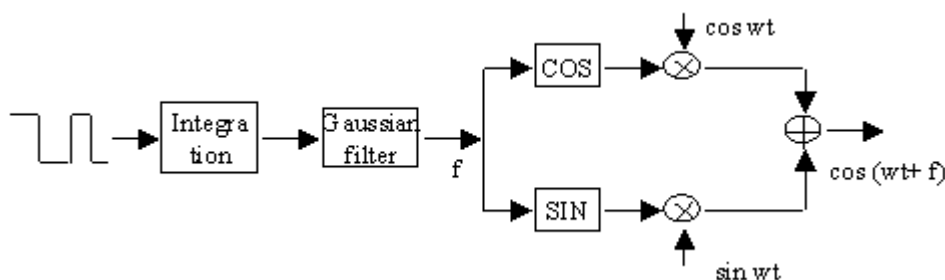


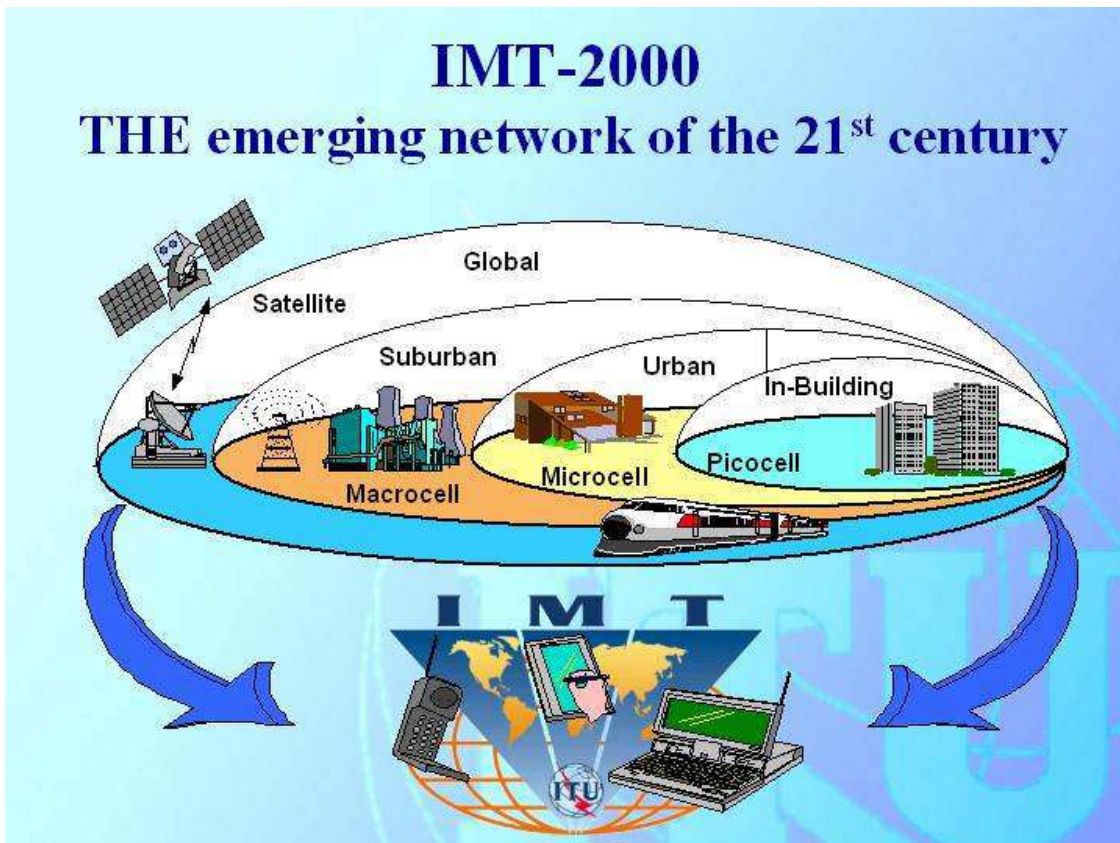
Figure 13

7. TROISIÈME GÉNÉRATION

La norme GSM ne cesse d'évoluer de manière à répondre aux besoins des consommateurs. Ainsi, la troisième génération est déjà préparée.

Cette nouvelle génération aura un débit binaire plus élevé (jusqu'à 2 Mbps) afin de permettre la vidéoconférence et Internet à haut débit avec une station mobile. La bande de fréquences utilisée sera la même que celle de la deuxième génération et son lancement est prévu pour 2002.

La figure 14 montre la vision de l'intégration des différentes normes, technologies et services de la communication mobile et sans fil dans IMT-2000.



10. RÉFÉRENCES

Les sites Web suivants ont été utilisés comme sources de références:

<http://www.comms.eee.strath.ac.uk/~gozalvez/gsm/gsm.html>
<http://ccnga.uwaterloo.ca/~jscouria/GSM/gsmreport.html>
<http://www.gsmworld.com>
<http://www.cellular.co.za/gsm-overviewpage.htm>
http://www.microcell.ca/fr/prod_serv.html
<http://www.webproforum.com/gsm/index.html>
<http://www.cdg.org/index.asp>
<http://www.3gpp.org/>

Tanenbaum, Andrew, **RÉSEAUX**, Prentice Hall, 3e édition, 1996