

Table des Matières

I. Notion de réseau.....	2
II. Propagation en contexte radio-mobile.....	8
III. L'interface radio du GSM.....	13
IV. Architecture du réseau.....	21
V. Les protocoles GSM.....	28
VI. Evolutions.....	41
VII. L'UMTS.....	47

Principes de fonctionnement des réseaux mobiles : Application au GSM

I. Notion de réseau

Introduction

Un mobile communique par radio avec une station fixe (station de base). Pour que cet échange se passe correctement il faut qu'il y ait un premier dialogue entre les deux permettant d'une part la synchronisation des messages et d'autre part pour estimer le canal et établir les fréquences et la puissance d'émission correspondantes qu'ils utiliseront lors de la communication. Les stations de base émettent régulièrement des appels aux mobiles qui souhaiteraient établir une communication et scrutent en permanence un canal de communication où les mobiles donnent leur requête. Dans le cas où la station de base dispose de canaux disponibles, elle indique au mobile les fréquences qui seront utilisées pour la communication. Un mobile (M) peut établir le contact avec plusieurs stations de base. Celles-ci échangent entre elles les informations nécessaires pour décider de la station avec laquelle le mobile va communiquer. Ce sera en principe la station qui reçoit les signaux de meilleure qualité (niveau de réception plus élevé, niveau de bruit plus faible, etc...). Cette station indique au mobile les fréquences qui seront utilisées lors de la suite de la communication.

Le concept cellulaire : Le PLMN

Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (50 km de rayon) et d'émission de forte puissance (8W) au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission). Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles. La première amélioration consista à allouer un canal de communication à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin permettant ainsi d'augmenter le nombre d'abonnés.

De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilise donc le spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale.

C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule. Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci. Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC) à laquelle on associe un certain nombre de fréquences.

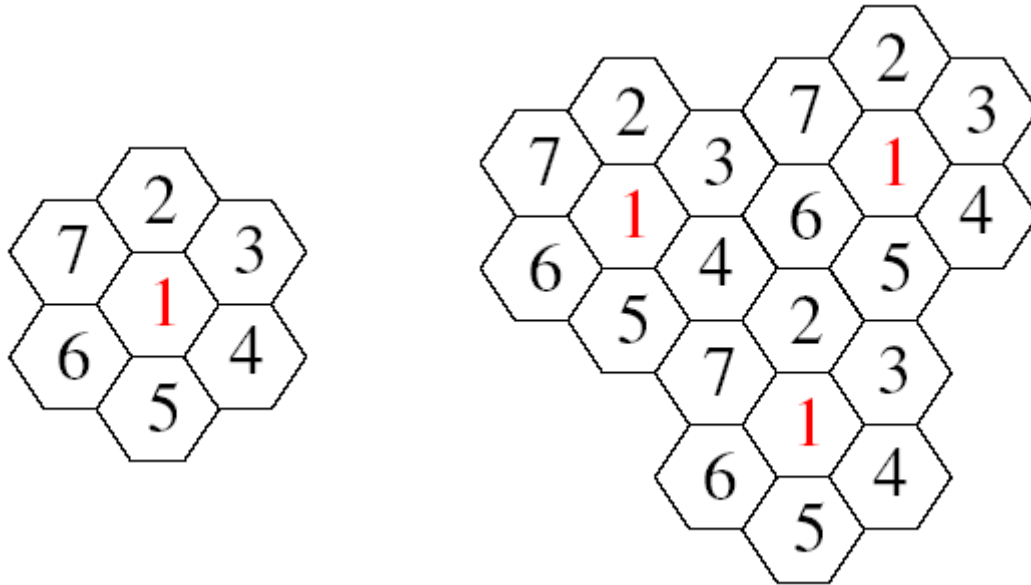


Figure représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite).

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

Le PLMN

La gestion du handover et de l'itinérance nécessite des équipements particuliers qui ne sont pas présents dans les réseaux téléphoniques classiques : commutateurs adaptés aux mobiles, bases de données spécifiques, ... Ces équipements et les stations de base, sont organisés en un réseau particulier ou PLMN (Public Land mobile Network). Un PLMN peut être vu comme un système qui assure un accès radio au réseau téléphonique général, le RTC. Il est bien distinct de ce dernier auquel il est rattaché par des passerelles appropriées. De par la concurrence, il y a plusieurs PLMN déployés par des opérateurs différents.

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

La signalisation

L'utilisateur du réseau est itinérant. Il faut router les appels entrants et sortants.

Un autre problème posé par la mobilité est le volume de signalisation. En effet, garder en permanence une trace de la position de chaque mobile allumé requiert un énorme flux de signalisation. Pour diminuer ce volume, le réseau ne cherchera pas à savoir à tout moment dans quelle cellule exactement se situe un terminal mobile. Il définit des sous-ensembles de l'ensemble des cellules, appelée zones de localisation (LAC : Location Area Code), et se contente de savoir dans laquelle se trouve chaque utilisateur actif. Lorsque le mobile quitte ce sous-ensemble, c'est lui qui va provoquer une mise à jour de localisation dans les registres du réseau. Le réseau ne connaît donc souvent que la localisation approximative d'un mobile et lorsqu'il doit l'atteindre, il fait un appel en diffusion, c'est-à-dire qu'il émet un appel contenant un identifiant du mobile sur toutes les cellules de la zone de localisation. Le mobile qui reconnaît son identifiant peut alors signaler sa position. Cette procédure d'appel en diffusion est appelée paging.

Mais pour qu'un appel en diffusion atteigne sa cible, celle-ci doit être à l'écoute. Tous les mobiles présents dans une cellule sont à l'écoute en état de veille sur une fréquence appelée voie balise. Cette écoute leur permet de s'informer d'éventuels appels qui leur seraient destinés. Cette voie sert aussi à transmettre des messages de synchronisation et à diffuser régulièrement la zone de localisation à laquelle appartient la BTS, ce qui permet au mobile de savoir quand il la quitte. Chaque BTS a sa propre voie balise.

La voie balise transmet des messages de synchronisation parce que le mobile doit pouvoir situer où commence chaque message dans le flux de données qu'il reçoit.

Un autre problème posé aux réseaux de téléphonie cellulaire est celui de l'itinérance ou roaming. Un utilisateur abonné auprès d'un opérateur doit pouvoir se rendre dans un territoire couvert par un autre réseau et utiliser son mobile. Ce problème requiert la définition des modes d'interaction entre réseaux. Par exemple, on doit définir comment un réseau A signale à un réseau B la présence d'un de ses utilisateurs. Cette information est nécessaire pour pouvoir faire transiter les appels vers cet utilisateur.

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

Une cellule se caractérise :

- par sa puissance d'émission .ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieure de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé.
- par la fréquence de porteuses utilisées pour l'émission radio-électrique
- par le réseau auquel elle est interconnectée.

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

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

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

Réutilisation des ressources

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

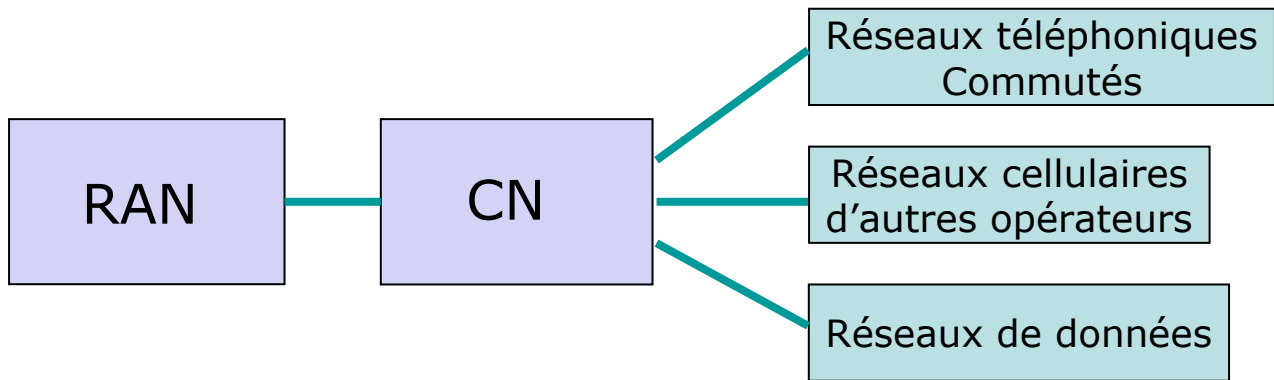
Définition : Capacité d'un réseau

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

Infrastructure du réseau

Le réseau mobile se décompose en deux parties distinctes :

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



Le RAN est dénommé BSS pour le GSM et UTRAN pour l'UMTS.

Application au GSM

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

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

- données utilisateur
- signalisation

et selon le sens de l'échange abonné → réseau ou réseau → abonné.

Définition : canaux radio

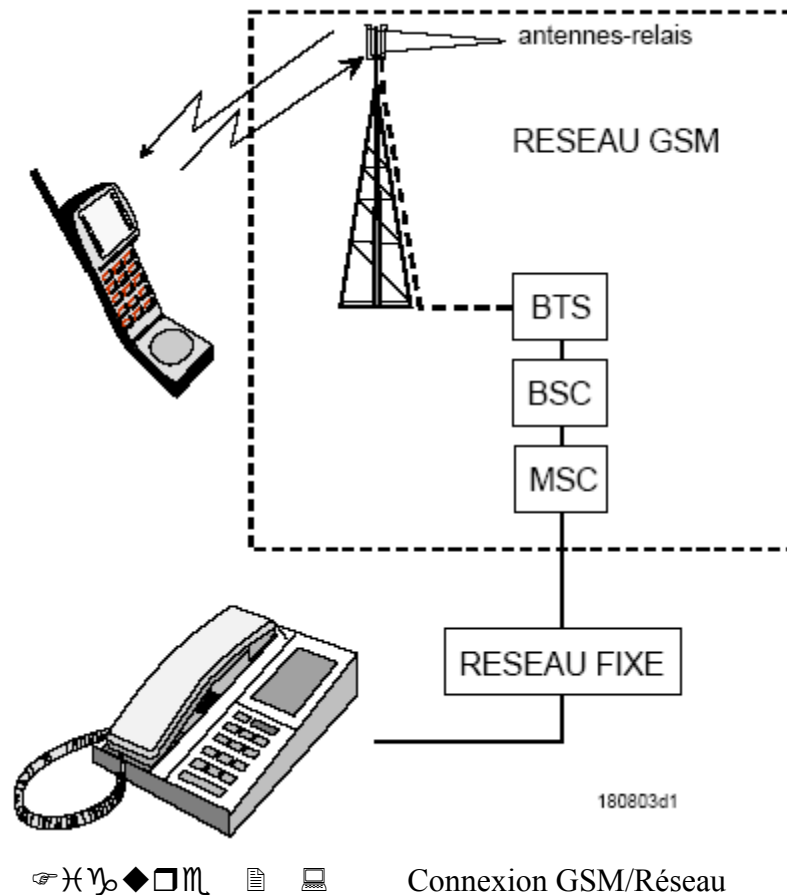
Il s'agit de bande de fréquence permettant une communication entre deux systèmes.

Le RAN :

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

Le CN :

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



Le MSC agit essentiellement comme un commutateur qui constitue le noeud central du réseau de téléphonie mobile ; il est connecté au réseau de téléphonie fixe, ainsi qu'aux réseaux GSM des opérateurs concurrents. Le MSC comporte des équipements informatiques qui gèrent l'acheminement des informations à travers le réseau GSM. C'est également le MSC qui permet de connaître, à tout moment, la localisation d'un téléphone mobile dans le réseau.

En principe, la connexion entre le MSC et le BSC est réalisée au moyen de câbles. Une communication entre un téléphone mobile GSM et un téléphone fixe transite donc via une BTS, un BSC, le MSC et le réseau fixe. De même, une communication entre deux téléphones mobiles X et Y passera par la BTS la plus proche du téléphone X, un BSC, le MSC, un second BSC, la BTS la plus proche du téléphone Y (le second BSC étant celui auquel la seconde BTS est reliée). Il est à noter qu'une communication entre deux téléphones mobiles très proches (abonnés d'un même opérateur) ne s'effectue jamais en « ligne directe », mais remonte toujours jusqu'à la BTS, le BSC et le MSC. Nous verrons l'architecture du réseau GSM plus en détail dans la suite de ce polycopié (p20).

II. Propagation en contexte radio-mobile

Le canal de transmission radio-mobile est l'un des médias de communication les plus variables : les ondes radio-électriques, parce qu'elles se propagent en traversant l'espace, sont sujettes aux nombreuses irrégularités de morphologie, de caractéristiques électromagnétiques, de température, d'humidité, ... du milieu traversé.

En parcourant le trajet entre l'émetteur et le récepteur, le signal transmis est sujet à de nombreux phénomènes dont la plupart ont un effet de dégradation sur la qualité du signal. Ces dégradations se traduit en pratique par des erreurs dans les messages reçus qui entraînent des pertes d'informations pour l'utilisateur ou le système. Les dégradations du signal dues à la propagation en environnement radio-mobile peuvent être classées en différentes catégories :

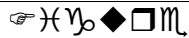
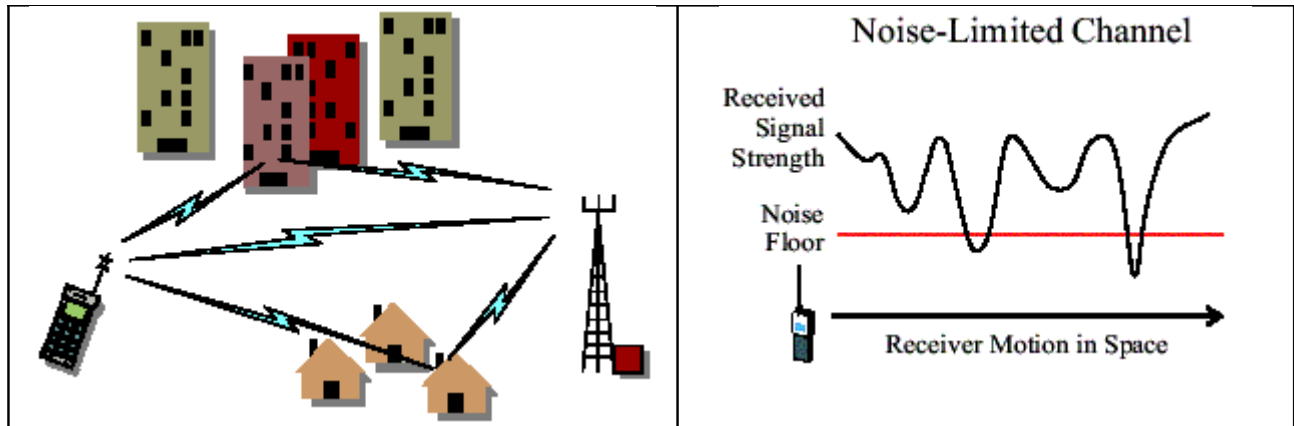
- Pertes de propagations dues à la distance parcourue par l'onde radio, ou affaiblissement de parcours (pathloss)
- Atténuation de puissances du signal dues aux effets de masques (shadowing) provoqués par les obstacles rencontrés par le signal sur le trajet parcouru entre l'émetteur et le récepteur.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

2.1. *Problèmes de transmission : principales causes d'erreurs.*

Distorsion en amplitude, Fading de Rayleigh, évanouissement.

La transmission entre 2 points subit de multiples réflexions sur les bâtiments d'une ville, sur les reliefs naturels et sur le sol. Ces échos, similaires aux réflexions dans un câble, génèrent des ondes stationnaires.

Le signal reçu en un point est la somme vectorielle du signal incident avec l'ensemble des signaux réfléchis. Si l'on trace la courbe de l'amplitude du signal en fonction des trois coordonnées spatiales, on trouve des ventres et des nœuds plus ou moins importants, espacés d'une demi longueur d'onde environ. La longueur d'onde étant directement liée à la fréquence du signal, la position des nœuds et des ventres change avec la fréquence utilisée.



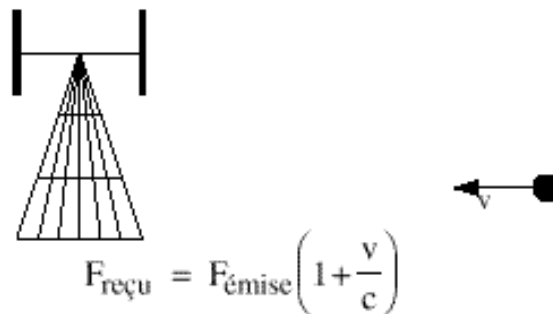
A gauche : Interférence multiple. A droite : Evolution de la puissance du signal en fonction de la distance à l'antenne.

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

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

Distorsion en fréquence, effet Doppler.

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



Si la direction est quelconque, le décalage en fréquence, dépend de la composante du vecteur vitesse projetée sur l'axe mobile - émetteur. La relation est alors la suivante.



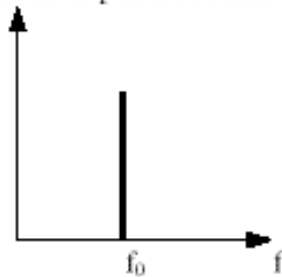
$$F_{\text{reçu}} = F_{\text{émise}} \left(1 + \frac{v}{c} \cos \alpha \right)$$

Plus le mobile va vite, et plus le décalage est important. Ce dernier reste toujours compris entre $-f.v/c$ et $+f.v/c$. Un exemple typique est celui d'une voiture sur l'autoroute, passant à côté d'un émetteur. Presque brutalement, le décalage passe d'une valeur positive à négative, à l'image du bruit d'une moto, qui passe brutalement de grave à aigu lorsqu'elle nous dépasse.

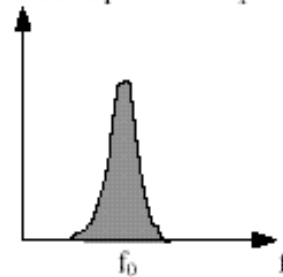
Il en résulte, vu du récepteur, que la fréquence porteuse ne paraît pas stable. En général, l'utilisation d'une PLL lors de la démodulation, permet de suivre ces variations de fréquence.

Le phénomène est encore plus compliqué en réalité. La réception étant composée d'une multitude de signaux réfléchis, le décalage en fréquence dépend de la vitesse relative du mobile par rapport à chacune des directions des réflexions. Le décalage en fréquence est donc différent pour toutes les réflexions. Cela revient quasiment à la même chose que de considérer un décalage en fréquence unique d'une porteuse ayant une mauvaise pureté spectrale.

Spectre de la porteuse émise



Spectre de la porteuse reçue



La largeur du spectre est de $2.f.v/c$. Le décalage en fréquence reste relativement faible en général, mais dans le cas d'une transmission en bande étroite, il peut être gênant en faisant sortir la bande utilisée du canal alloué. Dans le cadre d'une modulation de fréquence, il faudra choisir une excursion en fréquence suffisamment importante par rapport au décalage Doppler possible.

Affaiblissement de propagation

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

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

P_R : Puissance reçue

P_E : Puissance émise

G_E : Gain à l'émission

G_R : Gain à la réception

λ : Longueur d'onde

d : distance émetteur-Récepteur

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

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

Retard de transmission

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

$$\tau = d/c$$

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

- Le premier problème se rencontre au niveau de la modulation. On montre qu'un retard variable du signal peut apporter un déphasage variable de la porteuse ($2.\pi.f.\tau$), il faudra resynchroniser en permanence la porteuse avec une PLL. Dans le cadre de modulation angulaire, il faut que la variation de phase apportée par ce retard, pendant la durée de transmission d'un symbole, soit négligeable par rapport à la variation de phase de la modulation elle même. Sinon, la PLL ne pourra pas corriger les erreurs.
- Le deuxième est lié au multiplexage. L'utilisation du TDMA, peut être perturbé si tous les intervalles de temps ne sont pas décalés du même retard.
- Enfin, le troisième problème est rencontré au niveau de la détection des bits transmis. Il est important de savoir où commence et où finit l'information. Si le retard n'est jamais le même, comment s'y retrouver ?

Interférences dans la transmission

INTERFERENCE DE CANAUX ADJACENTS

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

INTERFERENCE DE CO- CANAL

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

INTERFERENCE D'INTERMODULATION

Si deux émetteurs sont très proches l'un de l'autre dans l'espace, les signaux émis peuvent se mélanger à l'intérieur du modulateur même si les fréquences sont très différentes. On obtient alors des signaux ayant des fréquences correspondant à la somme et la différence des fréquences des deux émetteurs. C'est le cas par exemple d'une personne qui possède, sur le toit de sa voiture, côte à côte, une antenne CB et une antenne GSM.

Si le conducteur dispose d'un nombre de mains suffisant pour conduire, téléphoner, et émettre avec la CB en même temps, il est possible d'obtenir éventuellement des interférences d'intermodulation avant la venue d'un accident. Ces interférences ainsi que le bruit de fond, sont à prendre en compte dans la détermination du rapport signal à bruit SNR.

2.2. Assurer une qualité de service

Gérer la mobilité

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

Assurer la sécurité de la communication

- *Confidentialité* : rendre impossible l'écoute abusive d'un mobile, sauf accord de l'opérateur avec l'état.
- *Sécurité de taxation* : Connaître avec certitude l'identité d'un mobile et interdire l'utilisation d'un service sur le compte d'un autre abonné.

Satisfaire un nombre d'abonnés suffisamment important par rapport à la zone couverte.

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

Offrir de nouveaux services supplémentaires.

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

III. L'interface radio du GSM

3.1 BANDES DE FREQUENCES

Les systèmes de téléphonie mobile GSM 900 et DCS 1800 fonctionnent respectivement à des fréquences voisines de 900 et 1800 MHz. Dans le cas du réseau GSM 900, la bande de fréquences comprise entre 890 et 915 MHz est utilisée pour la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais, tandis que la bande comprise entre 935 et 960 MHz est utilisée dans le sens inverse. Dans la terminologie GSM, la transmission du téléphone mobile vers l'antenne-relais est appelée « voie montante » ou « up-link »; la transmission de l'antenne-relais vers le téléphone mobile est, quant à elle, appelée « voie descendante » ou « down-link ». La communication entre le mobile et la BTS s'effectue toujours sur deux fréquences séparées de 45 MHz. Autrement dit, si la BTS envoie ses données à la fréquence f_1 , le mobile enverra ses données vers la BTS à la fréquence f_1-45 MHz.

	GSM	DCS
Bande Montante MS → BTS	890 à 915 MHz	1710 à 1785 MHz
Bande Descendante MS → BTS	935 à 960 MHz	1805 à 1880 MHz
TDMA	8 slots	8 slots
Ecart Duplex	45MHz 3 slots	95 MHz 3 slots
Rapidité de modulation	271k bauds	271k bauds
Débit parole / débit info	13kb/s / 9,6kb/s	13kb/s / 9,6kb/s

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

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

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

$N \in [1 ; 124]$ la fréquence correspondante en MHz est
 $N \in [512 ; 885]$

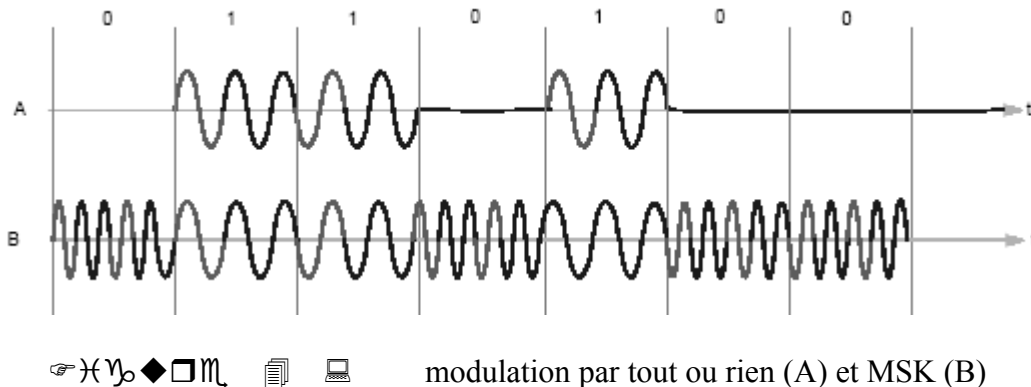
$f = 935 + 0,2.N$ (Bande GSM)
 $f = 1805 + 0,2.(N-512)$ (Bande DCS)

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

3.2 MODULATION

L'émission d'une onde électromagnétique de forme purement sinusoïdale ne permet la transmission d'aucune information ; pour que ce soit possible, il faut faire varier un des paramètres caractérisant la sinusoïde ; cette sinusoïde est appelée « fréquence porteuse » ou simplement « porteuse ». Les trois paramètres sur lesquels il est possible d'agir sont : l'amplitude, la fréquence ou la phase ; ce processus est appelé « modulation ».

Le diagramme B de la figure 4 décrit le principe de la modulation de fréquence de type « tout ou rien » ; elle est désignée par l'abréviation FSK pour « frequency shift keying ». La transmission des bits 0 et 1 correspond à l'émission de deux fréquences différentes. Le réseau GSM utilise la modulation GMSK (pour « gaussian minimum shift keying ») qui est une forme évoluée de la modulation FSK ; elle est réalisée en faisant passer le signal binaire, avant modulation, au travers d'un filtre passe-bas ; ce filtre passe-bas remplace les fronts montants et descendants par une transition progressive, ce qui diminue la largeur spectrale du signal modulé. Il en résulte que, pour un même débit binaire, la modulation GMSK a comme avantage d'occuper une largeur de bande moins importante que la modulation FSK classique. Une porteuse GSM modulée occupe une largeur de 200 kHz et une rapidité de modulation de 271 kbauds



3.3 Numérisation, codage, compression de la parole

➤ Filtrage

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

➤ Echantillonnage

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

➤ Compression

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

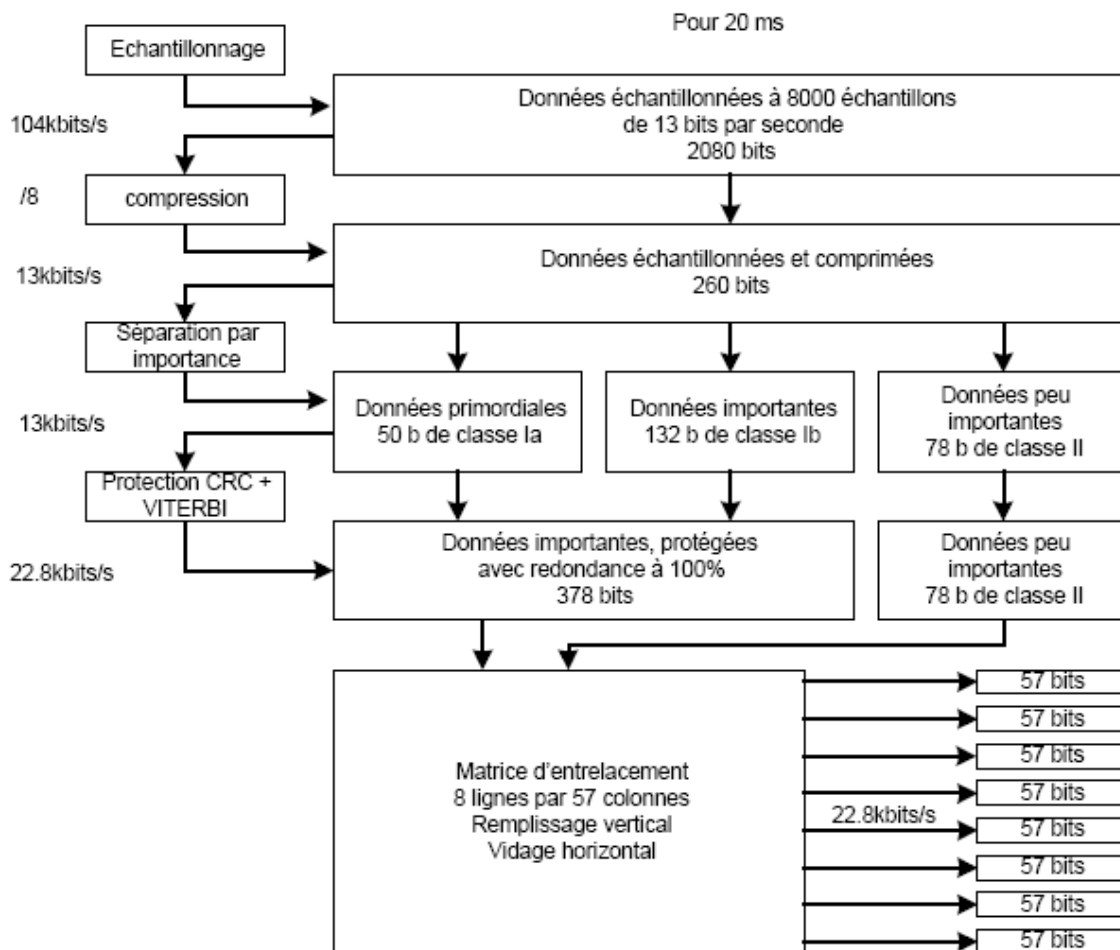
La norme GSM utilise un codeur dit LPC-RPE (Linear predictive coding and regular pulse excitation). Les échantillons sont stockés en mémoire par blocs de 160 échantillons de 13 bits (20 ms de parole) qui sont codés différemment. L'opération suivante consiste à fabriquer 4 blocs de 40 échantillons à partir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

Le premier bloc contient les échantillons 1,5,9,13..., le deuxième les échantillons 2,6,10.. et ainsi de suite. Le bloc *ayant le plus d'énergie* est le seul à être conservé par le codeur. C'est la première compression effective. Une autre technique est ensuite appliquée pour finalement n'émettre que 260 bits par 20 ms, soit un **débit binaire de 13 kbps**, huit fois moindre qu'au début.

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

Pour un bloc de 260 bits, on compte :

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



➤ Protection contre les erreurs

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

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

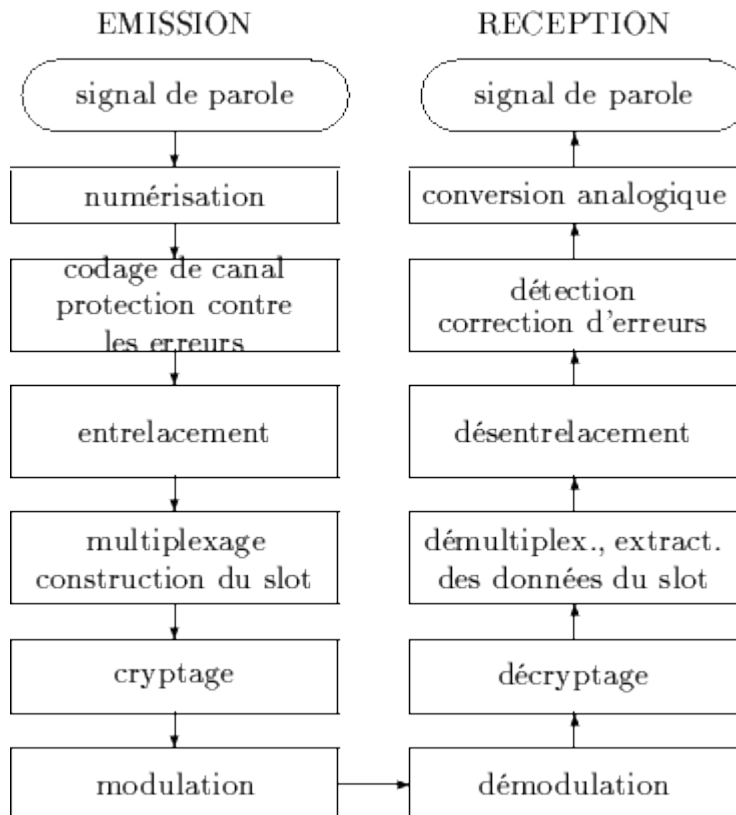
Le débit d'information comprimée et protégée devient alors **22,8kb/s**.

- La redondance insérée par le codage de Viterbi est telle que deux bits qui se suivent, portent la même information. Sachant que les erreurs arrivent en général par paquet, il est fort probable que si un bit est erroné, le bit redondant le sera également. En conséquence, le codage de Viterbi n'a que peu d'intérêt tel qu'il est. Il serait intéressant alors, de séparer les bits redondants les uns des autres. Pour cela, on entrelace le paquet en utilisant une matrice de taille 8 fois 57 (8 en entrée, 57 en sortie). Cet entrelacement permet d'étaler la redondance insérée par le codage de Viterbi. Il y a alors 57 bits entre deux bits redondants.

On obtient alors 8 paquets de 57 bits pour 20 ms de parole, soit un débit de 22,8kb/s.

➤ Cryptage

Il est bien sûr nécessaire de garantir un certain niveau de confidentialité et d'authentifier l'abonné. Toutefois il ne peut pas être envisagé d'utiliser les techniques à clef publique comme RSA, dont la mise en oeuvre serait bien trop coûteuse. Les techniques nécessitent donc des échanges de clefs et ne sont pas explicitées par les constructeurs de réseaux.

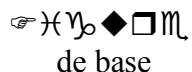
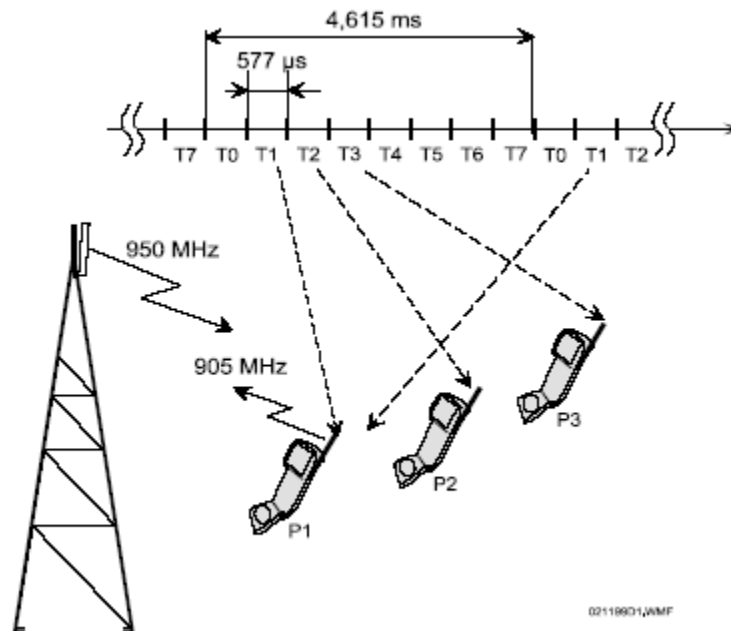


3.4 Partage de ressource

➤ Multiplexage par TDMA statique

Une liaison entre un téléphone mobile et une antenne-relais utilise deux canaux de transmission : un pour la voie montante et un pour la voie descendante. Un canal est constitué d'une onde radio (la porteuse) dont la fréquence varie dans une plage de 200 kHz de largeur et pendant un huitième du temps. La figure 5 illustre le principe utilisé : une antenne-relais transmet vers 3 téléphones mobiles, notés P1, P2 et P3, au moyen d'une porteuse dont la fréquence nominale est comprise entre 935 et 960 MHz (cas du GSM 900). Cette fréquence nominale est de 950 MHz dans l'exemple de la figure 5. Le message binaire (constitué de 0 et de 1) module la fréquence instantanée de la porteuse dans une plage étroite centrée autour de la fréquence nominale. La porteuse ainsi modulée occupe une largeur de 200 kHz comprise entre 949,9 et 950,1 MHz.

Durant un premier intervalle de temps T1, d'une durée de 577 μ s, la porteuse est utilisée pour transmettre vers le téléphone P1 ; cet intervalle de temps est appelé « time slot » dans la terminologie GSM. Ensuite, le téléphone P2 reçoit pendant le second « time slot » T2. De la même manière, le téléphone P3 recevra les informations qui lui sont destinées pendant le troisième « time slot » T3, et ainsi de suite s'il y a d'autres téléphones mobiles dans la cellule. Une porteuse peut ainsi être partagée par 8 téléphones mobiles. A la fin du « time slot » T1, le téléphone P1 devra attendre pendant 7 « time slots » avant de recevoir à nouveau. La transmission d'un canal (c'est-à-dire une conversation) se fait donc de manière discontinue ; ce procédé est appelé « multiplexage temporel » ou encore « time division multiple access » (TDMA).

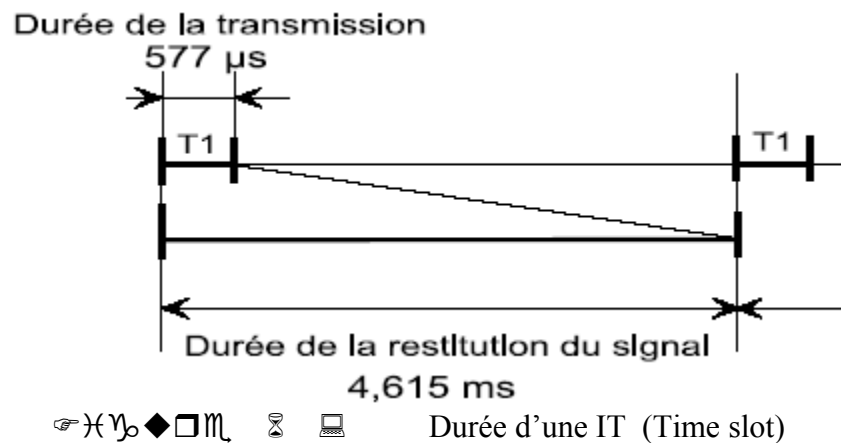


Etablissement d'une communication entre des mobiles et la station

de base

Il est à noter que cette transmission « saccadée » n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car la transmission pendant un « time slot » s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal, autrement dit, la transmission vers le téléphone P1 s'effectue pendant le « time slot » T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 « time slots » (c'est-à-dire 4,615 ms). La figure 6 illustre ce processus.

Rmq : Le terme intervalle de temps n'est jamais utilisé en téléphonie GSM, car, vu d'un mobile, il s'agit plutôt d'une salve d'information. En conséquence, on utilise plutôt le terme anglo-saxon burst (salve), emprunté au système radar.



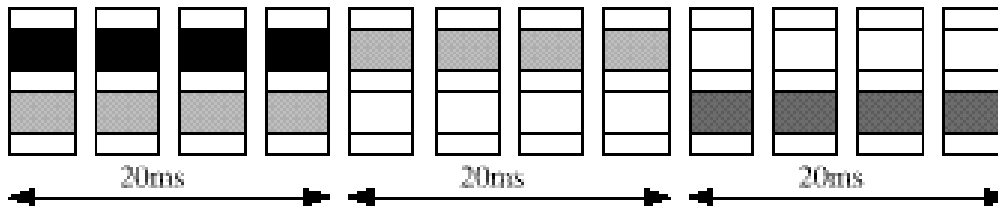
La figure 7 présente le format des bits transmis pendant un « time slot ». Il comprend un train de 148 bits d'une durée de 3,7 μ s, ce qui correspond à 547,6 μ s. Ce train de 148 bits est appelé « burst » ; il comporte :

- 3 bits d'en-tête et de queue : permettent d' « entourer » le burst
- Au centre, 26 bits : une séquence d'apprentissage pseudo-aléatoire. Par un calcul d'intercorrélation, cette séquence permet de retrouver le centre du burst et de synchroniser la lecture des données à la réception.
- Temps mort de 8,25 bits. Pendant cette durée, aucune information n'est réellement transmise. Sachant qu'un mobile peut être à 70km d'une BTS, le retard de propagation varie. Ce temps mort permet de prendre en compte le retard d'arrivée du burst du fait de la distance
- Deux paquets de données de 57 bits, suivis ou précédés par 1 bit de préemption. L'utilité de ce bit sera vue dans le paragraphe sur les canaux logiques

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

Il existe deux solutions pour transmettre la voix dans les bursts. La première et la plus simple consiste à utiliser 4 bursts entiers pour transmettre 20 ms de parole. Dans ce cas, on les remplit directement avec les huit paquets de 57 bits. Il y en a donc 4 pour 20 ms de données. La seconde

solution consiste cette fois-ci à utiliser 8 bursts. Pour remplir complètement les bursts, on chevauche les données correspondant à 20ms comme le schéma ci-dessous le montre.



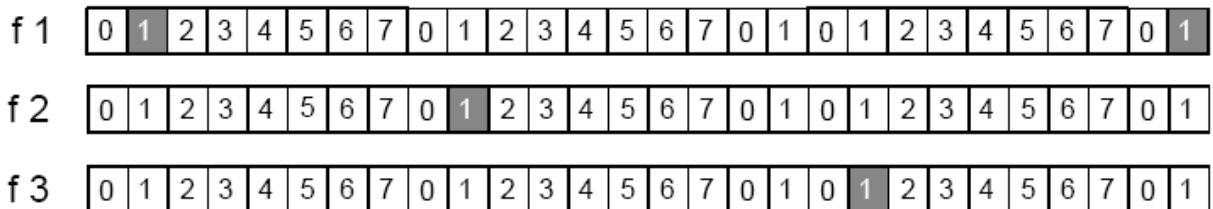
☞ ☹ ☺ ◆ □ ℳ ☎ ☏ Structure d'un burst GSM

La durée d'un « time slot » étant de 577 μ s, le train de 148 bit est en fait suivi d'une interruption de la transmission (appelée « Guard period »), d'une durée de 29,4 μ s, et dont le but est de séparer le contenu de 2 « time slots » successifs.

➤ Multiplexage par FDMA dynamique.

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

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



☞ ☹ ☺ ◆ □ ℳ ☎ ☏ Saut de fréquences

Le procédé est appelé « frequency hopping » en anglais ; il a comme avantage d'offrir une transmission dont la qualité moyenne est améliorée. En effet, en pratique, la qualité d'une liaison radio (mesurée par le taux d'erreurs) peut varier avec la fréquence de la porteuse. Dans l'exemple de la figure 8, il se pourrait que la réception sur f_3 soit de moins bonne qualité que sur f_1 et f_2 et cela pour deux raisons :

- Il est possible qu'une autre BTS (ou tout autre émetteur) situé à bonne distance, utilise également cette fréquence f_3 , ce qui a pour effet que tous les téléphones mobiles recevant la fréquence f_3 captent, à la fois, les signaux de la BTS la plus proche et ceux de la BTS éloignée émettant à cette fréquence f_3 . En cas de perturbations importantes, la fréquence f_3 pourrait même devenir inutilisable.
- Les réflexions sur le sol et sur les bâtiments donnent lieu à un régime d'ondes stationnaires (ou quasi stationnaires) caractérisé par des ventres de vibrations (l'amplitude

du champ y est maximale) et des noeuds de vibrations où le champ est nul dans le cas d'un régime purement stationnaire. Rappelons également que la distance séparant un ventre d'un noeud est égale à un quart de la longueur d'onde, soit environ 8 cm à la fréquence de 900 MHz ; cette distance dépend donc de la fréquence de la porteuse et il en découle que la position des ventres et des noeuds varie avec la fréquence. Il est donc possible que le téléphone mobile se trouve, précisément, en un point P correspondant à un noeud de vibrations pour la fréquence f_3 ; si c'est le cas, il est peu probable que ce point P soit également un noeud aux fréquences f_1 et f_2 .

Une communication utilisant des fréquences différentes pour la transmission des « bursts » successifs bénéficiera d'une qualité moyenne nettement plus constante que si la fréquence de la porteuse était fixe. Dans notre exemple, la qualité moyenne d'une communication utilisant successivement les fréquences f_1 , f_2 et f_3 sera forcément moins bonne que si seulement f_1 ou f_2 étaient utilisées ; par contre elle sera supérieure à la qualité de la transmission à la fréquence f_3 . Ajoutons également que les algorithmes de détection et de correction d'erreurs sont très performants lorsque le taux d'erreurs reste faible. A l'inverse, au-delà d'un certain seuil, aucune correction n'est plus possible et les bits reçus sont perdus. L'utilisation du saut de fréquence apporte donc un gain en performance substantiel, pour autant, bien sûr, que la qualité moyenne ne tombe pas sous le seuil où l'algorithme de correction d'erreurs n'est plus en mesure de fonctionner efficacement.

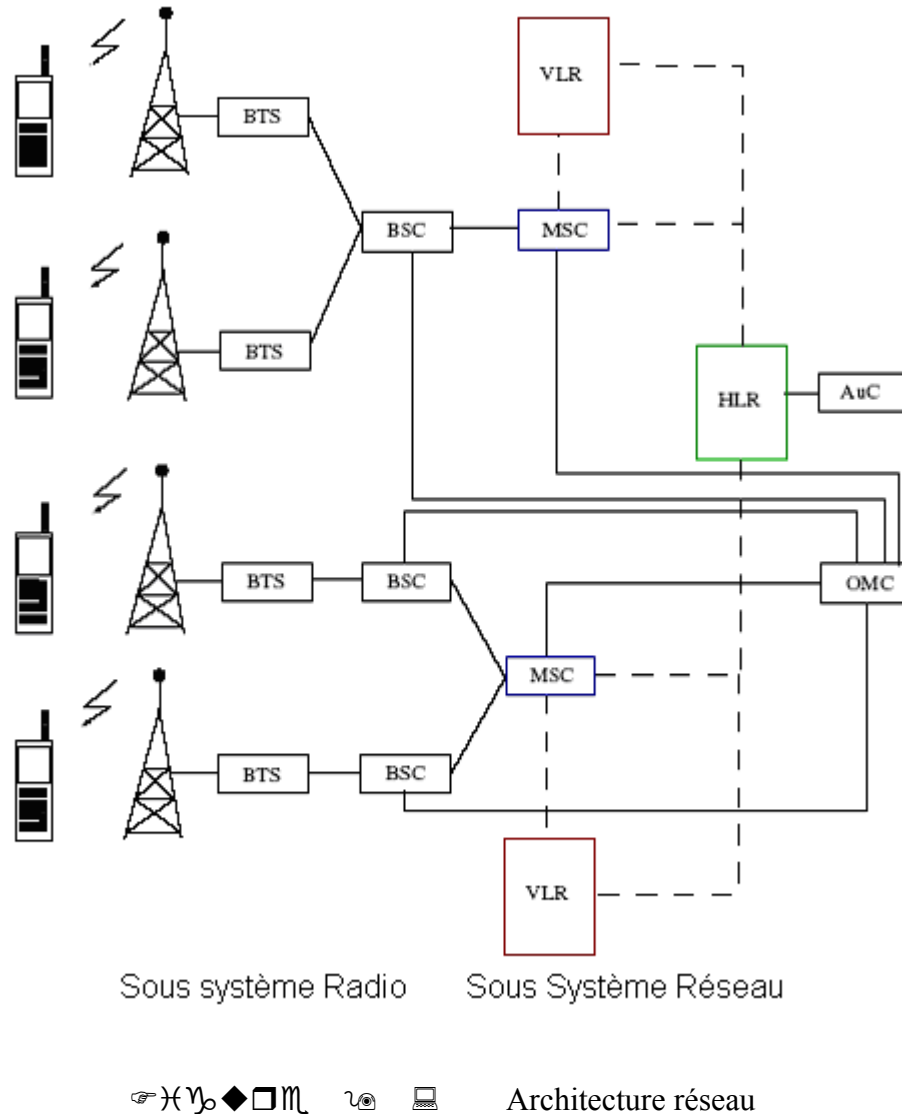
Le saut de fréquence est utilisé, à la fois, pour les voies montantes et descendantes.

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

IV. Architecture du réseau

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en trois sous-systèmes :

- Le sous-système radio contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur qui assure la transmission radio-électrique et la gestion de la ressource radio (BTS et BSC)
- Le sous-système réseau ou d'acheminement : Etablissement des appels et mobilité
- Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance. : Admission sur réseau



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

Les MSC sont reliées à des bases de données, pour permettre de contrôler les droits d'accès des usagers au réseau, et pour enregistrer la localisation des abonnés. Les bases de données sont l'enregistreur des visiteurs « Visitor Location Register » (VLR), le « Home Location Register » (HLR) du commutateur, et le « Authentication Center » (AUC).

Le VLR : La base de données relative aux visiteurs du réseau VLR stocke des informations se rapportant à des abonnés qui sont en transit. Le VLR est une base de données reliée à un MSC qui stocke temporairement les informations concernant chaque mobile dans la zone de travail du MSC, (identité de l'abonné, sa dernière zone de localisation, les services complémentaires

souscrits par celui-ci, les éventuelles restrictions ou interdictions d'établissement de la communication).

Le HLR d'un abonné d'un réseau GSM est une banque de données. Elle renferme les originaux d'informations relatives à cet abonné, notamment le profil de son abonnement. Quand cet abonné entre dans le réseau, ou quand il demande l'accès à un service, un équipement du réseau qui veut contrôler la validité des privilèges du demandeur interroge le HLR de l'abonné. Le HLR d'un abonné contient *des* informations permanentes. Le HLR est la base de données centrale contenant toutes les informations administratives relatives aux abonnés d'un réseau donné utilisant deux clés d'entrée :

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) : c'est un numéro unique alloué à chaque abonné stocké dans la carte SIM et utilisé par le réseau pour la transmission des données de l'abonné.
- MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network) : c'est le numéro d'appel de l'abonné lié à l'IMSI dans l'HLR; les appels destinés à l'abonné sont transcrits en numéro d'IMSI ce qui permet sa recherche et l'établissement de la communication.

En revanche, un VLR enregistre les informations temporaires, dynamiques, relatives à une station mobile.

L'OMC est le centre d'exploitation et de maintenance.

4.1 Le sous-système radio

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

Le mobile

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

- Données administratives
 - PIN : Mot de passe demandé à chaque connexion
 - PUK : Code pour débloquer la carte
- Données liées à la sécurité
 - Clé Ki : Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
 - CKSN : Séquence de chiffrement
- Données relatives à l'utilisateur

- IMSI : Numéro International de l'abonné
- MSISDN : Numéro d'appel d'un téléphone GSM

L'identification d'un mobile s'effectue exclusivement au moyen de la carte SIM. En effet, elle contient des données spécifiques comme le code PIN (Personal Identification Number) et d'autres caractéristiques de l'abonné, de l'environnement radio et de l'environnement de l'utilisateur.

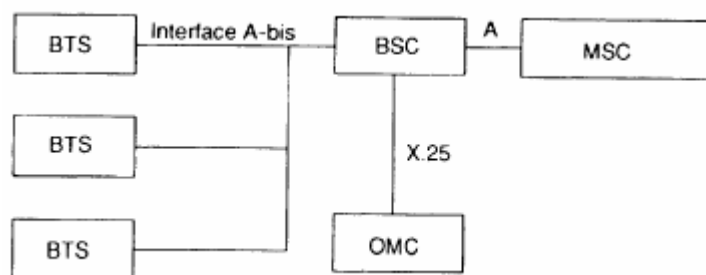
L'identification d'un utilisateur est réalisée par un numéro unique (IMSI, International Mobile Subscriber Identity) différent du numéro de téléphone connu de l'utilisateur (MSISDN, Mobile Station ISDN Number), tous deux étant incrustés dans la carte SIM.

La station de base (BTS)

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

Le contrôleur de station de base (BSC)

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



Un BSC possède trois interfaces filaires normalisées :

- L'interface A-Bis
- L'interface A
- L'interface X.25

Interface A-Bis

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis. Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau communication qu'au niveau exploitation. Pour les fonctions de communication, le BSC agit vis-à-vis du trafic abonné venant des stations de base comme un concentrateur puisqu'il véhicule les communications provenant des différentes stations de base. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base. Il remplit à la fois le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance. Une autre fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts inter-cellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre. Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné. C'est donc un maillon très important de la chaîne de communication et il est de plus le seul équipement de ce sous système à être directement gérable (via l'interface X.25 qui le relie au sous-système d'exploitation et de maintenance).

4.2 Le sous-système réseau

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

Le NSS est constitué de :

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

Le centre de commutation mobile (MSC)

Interface A

Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface A. Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou du réseau ISDN. D'un point de vue fonctionnel, il est semblable à un commutateur de réseau ISDN, mis à part quelques modifications nécessaires pour un réseau mobile. De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR, VLR et AuC) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs MSC d'un opérateur

sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs.

L'enregistreur de localisation nominale (HLR)

Il existe au moins un enregistreur de localisation (HLR) par réseau (PLMN). Il faut le voir comme une base de données avec des informations essentielles avec un temps d'accès doit être réduit au strict minimum. Plus la réponse du HLR est rapide et plus le temps d'établissement de la connexion sera petit.

Le HLR contient à la fois

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

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

Le centre d'authentification (AuC).

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

- Le chiffrement des transmissions radio. Il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse !
- L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification. L'authentification s'effectue par résolution d'une cle sur base d'un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile. À partir de ce nombre, un algorithme identique (algorithme A3) qui se trouve à la fois dans la carte SIM et dans l'AuC produit un résultat sur base de la clé Ki et du nombre M. Dès lors, lorsqu'un VLR obtient l'identifiant d'un abonné, il demande, au HLR du réseau de l'abonné, le nombre M servant à la clé et le résultat du calcul afin de le comparer à celui qui sera produit et envoyé par le mobile. Si les résultats concordent, l'utilisateur est reconnu et accepté par le réseau. Grâce à ce mécanisme d'authentification, un VLR peut accueillir un mobile appartenant à un autre réseau (moyennant un accord préalable entre opérateurs de réseau !) sans qu'il ne soit nécessaire de divulguer la clé de chiffrement du mobile.

On peut dès lors distinguer trois niveaux de protection :

1. La carte SIM qui empêche un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
2. Le codage des communications destiné à empêcher l'écoute de celles-ci.
3. La protection de l'identité de l'abonné.

L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR).

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et est liée à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM. Elle contient des données dynamiques qui lui sont transmises par le HLR avec lequel elle rentre en communication lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR et suivent l'abonné.

L'enregistreur des identités des équipements (EIR)

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

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

4.3 Le centre d'exploitation et de maintenance

L'interface X.25

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau, gère notamment les alarmes, les dysfonctionnements, la sécurité, . . .

Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM.

4.4 Application

Illustrons brièvement le fonctionnement des entités d'un réseau en traitant deux scénarios typiques entre un réseau mobile et un réseau fixe :

1. Un abonné GSM compose le numéro de téléphone d'un abonné du réseau fixe. Sa demande arrive d'abord au BTS de la cellule puis passe à travers le BSC et arrive enfin au MSC qui vérifie les droits de l'abonné (autorisation d'accéder à ce service, état de l'abonnement, . . .). Si l'abonné remplit les conditions, le MSC transmet l'appel au réseau public et demande au BSC de réserver un canal pour la communication. Il ne reste alors plus qu'à attendre que le poste fixe soit décroché pour que la communication soit établie.

2. Supposons au contraire qu'un abonné du réseau fixe veuille joindre un abonné du réseau GSM. Le fonctionnement est un peu plus compliqué. En effet, le numéro

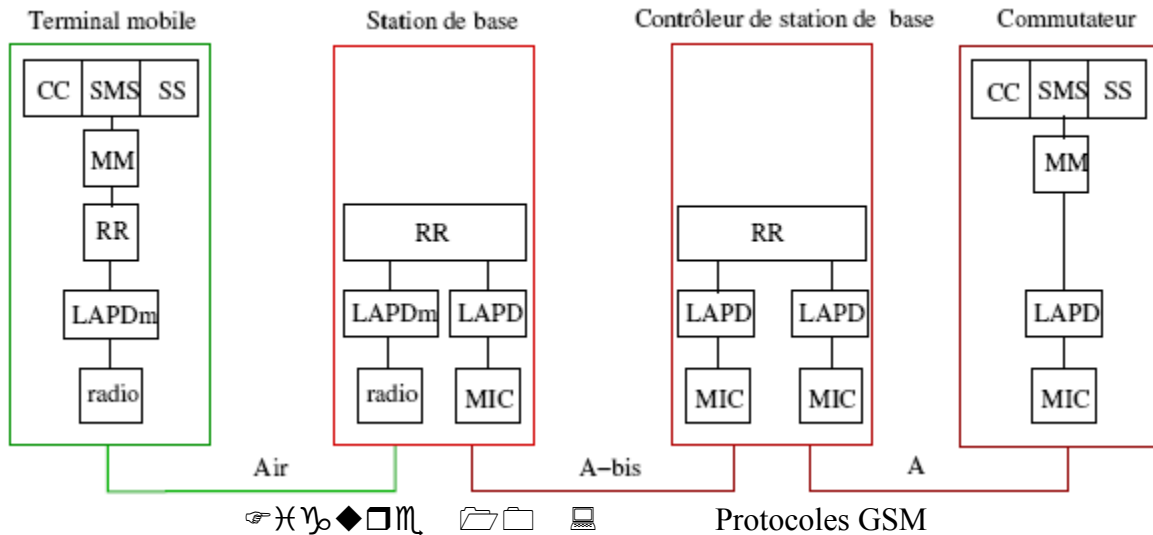
composé sur le poste fixe est tout d'abord aiguillé vers le commutateur de l'abonné et ensuite redirigé vers le réseau GSM. Dans ce réseau, le HLR est interrogé afin de connaître la position de l'utilisateur du réseau mobile ainsi que son état (libre, occupé, éteint). Si le mobile est dans l'état libre, le réseau interroge alors le VLR de la zone pour savoir dans quelle cellule le mobile se situe. Ainsi, le BSC de la zone demande aux différentes stations de base de sa zone de diffuser un avis d'appel. Comme le mobile est libre, il écoute le réseau et s'aperçoit qu'on tente de le joindre et la sonnerie du terminal est activée.

V. Les protocoles GSM

La figure 10 représente l'architecture des protocoles GSM des différents éléments du réseau. Au niveau applicatif, on distingue les protocoles suivants qui, au travers de différents éléments du réseau, relient un mobile à un centre de communication (MSC) :

1. Le protocole Call Control (CC) prend en charge le traitement des appels tels que l'établissement, la terminaison et la supervision.
2. Le protocole Short Message Service (SMS) qui permet l'envoi de courts messages au départ d'un mobile. La longueur d'un SMS est limitée à 160 caractères de 7 bits, soit 140 octets.
3. Le protocole Supplementary Services (SS) prend en charge les compléments de services. La liste de ces services est longue mais, à titre d'exemple, citons le Calling Line Identification Presentation (CLIP), le Calling Line Identification Restriction (CLIR) et le Call Forwarding Unconditional (CFU).
4. Le protocole Mobility Management (MM) gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette application se trouve dans le sous-réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous deux connaître la position du mobile dans le réseau.
5. Le protocole Radio Ressource management (RR) s'occupe de la liaison radio. Il interconnecte une BTS et un BSC car ce dernier gère l'attribution des fréquences radio dans une zone.

Nous allons nous intéresser aux protocoles du terminal, et en premier lieu l'interface radio (qui représente l'équivalent du niveau physique de la couche OSI).



5.1 Canaux logiques de l'Interface radio du terminal mobile/Station de base

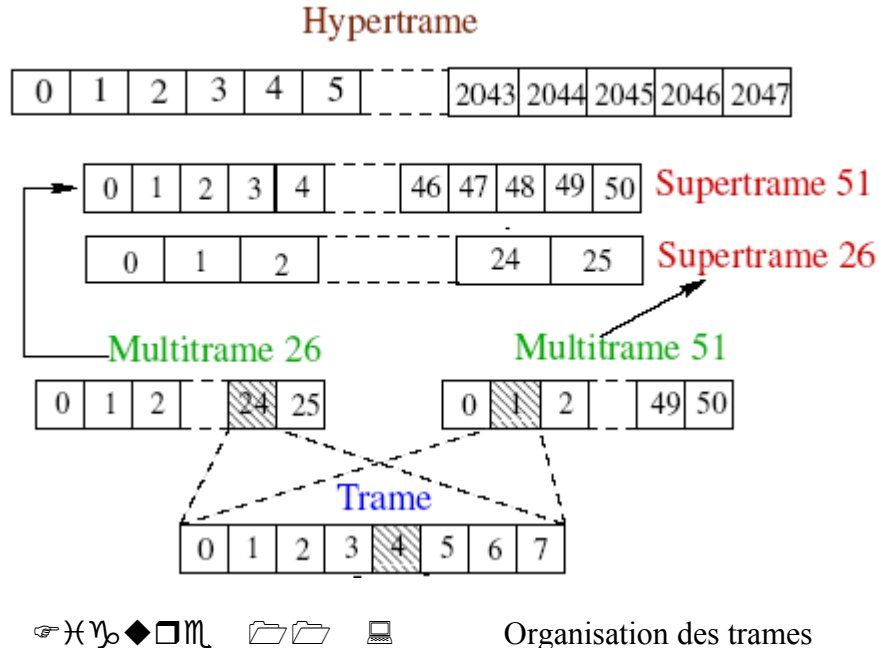
L'interface radio représente la partie délicate de la chaîne de transmission et le système doit faire face aux différents problèmes du lien mobile-réseau au niveau de la propagation (atténuation, évanouissements, interférences...), mais aussi au niveau de la gestion du réseau : il est nécessaire d'avoir des fonctions de contrôle pour que le mobile se rattache à la station de base la plus favorable, pour établir et surveiller le déroulement d'une communication ou encore assurer le handover.

Pour faciliter la gestion du mobile et la communication, on définit différents canaux logiques qui sont multiplexés temporellement dans des trames, supertrames et hypertrames.

Structure temporelle du GSM

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

voit attribuer un numéro : "Frame Number". Ce compteur va permettre au mobile de se synchroniser finement avec la cellule en se verrouillant dessus, le "Time code" démarre au même instant pour toutes les fréquences d'une même BTS. Le compteur est aussi utilisé pour le chiffrement dans l'algorithme A5.



VOCABULAIRE

Trame : Il s'agit d'un burst d'une communication démultiplexée. Sa durée est donc de 4,615ms.

Multiframe : assemblage de trames. On définit deux types de multiframe : les multiframe26 et les multiframe51 composées respectivement de 26 et 51 trames et ayant une durée de 120ms et 235ms.

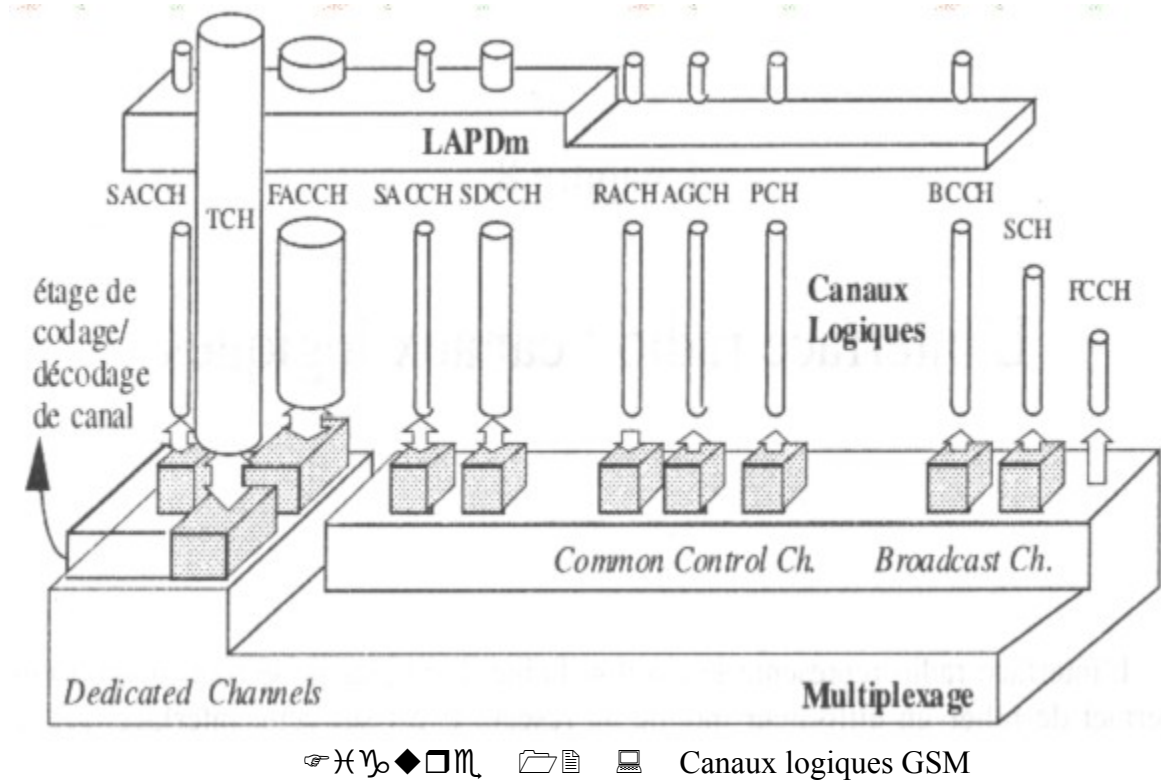
Supertrame : Sa durée est toujours de 10,2 secondes. Pour cela, elle est composée de 51 Multiframe26 ou de 26 Multiframe51.

Hypertrame : Composée de 2048 Supertrames, sa durée est de 3h28mn53s760ms. Elle est composée de 2 715 648 trames.

Chaque trame est repérée par son numéro *FN* (Frame Number), que transmet régulièrement la BTS vers les mobiles. Toutes les trames de n'importe quel slot et pour toutes les fréquences d'une BTS ont à un instant donné, le même FN

L'utilisation de canaux logiques va permettre une utilisation efficace des ressources radio et une qualité de service satisfaisante. Parmi ces canaux on distingue les canaux dédiés (TCH et SACCH), c'est à dire alloués à un mobile et sont en full duplex. Les autres canaux sont des canaux partagés entre tous les mobiles (unidirectionnel sauf le RACCH).

Il serait possible de réserver un slot complet pour la signalisation. Mais cela bloquerait 1/8 du débit d'une fréquence porteuse. De plus, il serait difficile de séparer la signalisation privée, de la signalisation publique. On a donc choisit une autre méthode pour transmettre la signalisation. Pour comprendre comment sont insérés ces canaux dans les systèmes GSM, il faut définir un certain nombre de termes.



Liste des différentes voies logiques :

VOIES DUPLEXES DEDIEES A UNE COMMUNICATION :

- **TCH** : Traffic CHannel. Cette voie contient les données correspondant à la parole plein débit 13kb/s, ou demi débit 6,5kb/s ou encore des données informatiques à 9,6, 4,8 ou 2,4 kb/s. Le TCH comprend les FN 0 à 11 et 13 à 24.
- **SACCH** Slow Associated Control CHannel. Une liaison radio est fluctuante, il n'est pas possible de dédier un canal à un mobile sans le contrôler en permanence. Il faut constamment ajuster les paramètres pour conserver une qualité de service acceptable. Enfin le réseau doit vérifier que le mobile est toujours actif sur le canal. Son débit est faible et le délai important (1/2 seconde). On trouve :

- 📁 📄 Gère le TA (Temps d'attente entre l'émission théorique et l'émission réelle)
- 📄 📄 Contrôle de puissance d'émission du mobile.
- 📄 📄 Contrôle de la qualité du lien radio.
- 📄 📄 Rapatriement des mesures effectuées sur les stations voisines

Le SACCH se situe sur la trame FN12 d'une Multitrème26. Il s'agit d'une trame réservée pour la signalisation dédiée. Il faut 4 Multitrèmes pour un SACCH complet.

- *Idle ou état de veille* : Il reste une trame par Multitrème26, celle dont le FN est 25. Cette trame n'est pas utilisée pour transmettre des données, mais pour écouter les voies balises de toutes les BTS afin de mesurer la puissance reçue dans le but de choisir la BTS la plus proche. Puisque tous les mobiles d'une cellule ont les mêmes numéros FN, cela signifie que tous seront silencieux en même temps pendant cette durée. Seules les voies balises seront en émission sur la BTS.
- *SDCCH* Stand-alone Dedicated Control CHannel. Canal de signalisation pure, il ne nécessite qu'un débit limité à 800bits/s.
- *FACCH* Fast Associated Control CHannel. Le canal SACCH est trop lent (0,5s) pour des ordres urgents tels qu'un handover. Dans ce cas, le FACCH permet de réagir rapidement. Ce canal est construit en volant les ressources du TCH. On remplace dans un burst 57 ou 114 bits de données par des bits d'information urgente. Pour indiquer qu'il s'agit du FACCH et non du TCH, le bit de préemption, collé aux 57 bits de données, passe au niveau logique 1.

VOIE BALISE, ACCES DESCENDANT DE DIFFUSION :

Ces voies sont toutes placées dans une même Multitrème 51, leurs bursts ne sont pas soumis à la règle du FDMA dynamique, et reste en permanence à la même fréquence. La puissance émise sur cette fréquence est toujours constante et ne suis pas la règle du FDMA dynamique, même si certains slots sont utilisés comme voies dédiées. Chaque BTS a sa propre voie balise. Ainsi, tous les mobiles pouvant écouter la voie balise de toutes les BTS proches sont capables de mesurer la puissance émise par chacune des BTS. Cette mesure permet de décider l'exécution d'un handover.

- *FCCH* Fréquence Correction CHannel. Cette voie diffuse une sinusoïde numérique échantillonnée parfaite à 67 kHz permettant au mobile de se synchroniser. Elle est émise toute les 50 ms et occupe les slots 0 des FN 0, 10, 20, 30, 40 de la Multitrème 51.
- *SCH* Synchronisation CHannel. Elle occupe les slots 0 des FN 1, 11, 21, 31, 41. Ce canal diffuse les numéros FN des trames. Elle comporte une séquence d'apprentissage de 64bits au lieu de 26 afin d'augmenter la précision de synchronisation d'un mobile. Elle diffuse également le numéro BSIC, Base Station Identification Color, qui informe le mobile sur les fréquences utilisées dans la zone couverte par une BSC.

3 bits d'en-tête	39 bits de données	64 bits de séquence d'apprentissage	39 bits de données	3 b de queue	8,25 bits de garde
------------------	--------------------	-------------------------------------	--------------------	--------------	--------------------

➤ *BCCH* Broadcast Control CHannel. Voie de diffusion des règles d'accès, de mise en fonctionnement. Elle décrit l'organisation des canaux de la cellule dans laquelle se trouve la BTS et des cellules voisines.

- Diffuse les données caractéristiques de la cellule ;
- Diffusion régulières d'informations systèmes de plusieurs types ;
- Contient les règles d'accès à la cellule. Permet au mobile s'il peut se mettre en veille sur la cellule, après une mise sous tension ou après y être entré (Niveau minimal de signal exigé, niveau maximal de puissance autorisé, hystérésis nécessaire pour la re-sélection de cellules (2 dif/seconde) ;

D'autres informations diffusées chaque seconde, permettent aux mobiles de se mettre en conformité avec l'organisation de la cellule :

- Description de l'organisation des canaux de contrôle commun indique aux MS les slots à écouter pour détecter les appels diffusés.
- La description de l'organisation du canal CBCH permet au MS de recevoir les messages utilisateurs diffusés.
- La description des cellules voisines donne les fréquences des voies balises des cellules voisines.
- La liste des porteuses allouées à la BS est nécessaire au MS lorsqu'il est en communication et que le saut de fréquence est activé.
- De plus, un ensemble de paramètres nécessaire à différentes fonctions liées au déroulement des communications est diffusé : Contrôle de puissance, valeur de hors temp.
- Chaque BS diffuse également son identité complète (CI, Cell Identity) au sein de la zone de localisation.

VOIE COMMUNE CCCH (COMMON CONTROL CHANNEL) :

➤ *RACH* Random Acces CHannel. Voie montante à accès aléatoire de demande d'appel. Tout mobile désirant établir une communication fait une requête sur RACH afin qu'un TCH lui soit attribué. Le mobile faisant une requête d'appel ne dispose donc pas encore d'un SACCH. Ne pouvant être bien synchronisé, la durée de garde a été augmentée, dans le but d'éviter un débordement sur le burst suivant d'un autre mobile sur RACH (l'utilisation de ce canal sera détaillée dans le paragraphe 2.5).

8 bits d'en-tête	41 bits de synchronisation	36 bits de données	3 b de queue	68,25 bits de garde
------------------	----------------------------	--------------------	--------------	---------------------

➤ *AGCH* Acces Grant CHannel. Voie descendante d'allocation de ressource. En réponse à l'utilisation de RACH, elle permet attribuer un numéro de slot, une fréquence, et de préciser la règle locale de saut en fréquence. Envoie un code de demande d'authentification. Le mobile répondra au début du TCH par un autre code pour confirmer son identité.

- *PCH* Paging CHannel. Canal descendant de recherche d'un mobile dans la zone gérée par un VLR. Le mobile répondra par RACH.
- *CBCH* Cell Broadcast Channel. Voie descendante de diffusion d'information générale, elle transmet l'heure, la date, la météo, l'état de la route, et toutes autres informations n'ayant pas grand chose à voir avec le téléphone.

Remarque :

Quel est l'intérêt des deux types de Multitrames et pourquoi ne pas utiliser que des Multitrames 26 ? Un mobile écoute les voies balises de toutes les BTS locales pendant la trame Idle, afin de repérer la plus proche. Il peut donc écouter pendant une trame sur 26. Si les voies balises n'émettent que pour les FN 0, 1, 10, 11, 20, 21 d'une multitraine 26, il est possible que cela ne coïncide jamais avec l'instant de la trame Idle d'un mobile. Mais 26 et 51 étant premiers entre eux, si les TCH sont composés de Multitrames 26 et les voies balises de Multitrames 51, il y aura toujours un instant de coïncidence.

Multiplexage temporel

Il y a plusieurs combinaisons possibles d'affectation de canaux logiques sur un même canal physique qui font appel à différentes structures de multitrames :

- TCH/FS + SACCH associé
- 2 TCH/HS + 2 SACCH
- BCCH + CCCH
- 8 SDCCH (1 SDCCH a un débit d'environ 0,8 kbit/s)
- SDCCH + BCCH + CCCH

Pour rappel, il y a 2 structures de multitrames, 1 multi-trame à 26 trames et une à 51 trames. Les multitrames sont organisées en supertrames en en hypertrames.

Multitraine à 26 trames

Les combinaisons (1) et (2) sont réalisées au moyen d'une multitraine à 26 trames (voir fig. 4.3). Dans cette multitraine, le même TS (canal physique) est utilisé par le TCH/FS pendant 24 trames, par le SACCH pendant 1 trame tandis qu'une trame est inutilisée

- La multitraine 26 a une durée de 120 msec. (26 x 4,615 msec)
- Le débit utile d'un TCH est donc de $24 \times 114 \text{ bits} / 120 \text{ msec} = 22,8 \text{ kbit/sec}$
- Le débit utile d'un SACCH est donc de $114 \text{ bits} / 120 \text{ msec} = 950 \text{ bits/sec}$.

Multitraine à 51 trames

Les combinaisons (3) à (5) sont réalisées au moyen d'une multitraine à 51 trames d'une durée = 235 ms. La combinaison (3) (voir figure 4.4.) est réalisée sur le TS 0 d'une porteuse qui est appelée la porteuse BCCH. La structure n'est pas symétrique dans les 2 sens. Le sens MS -> BS ("uplink") étant affecté au RACH, les mobiles peuvent utiliser chacun des TS 0 pour accéder au réseau.

Le sens BS -> MS est structuré en 5 ensembles de 10 trames qui commencent chacune par le FCCH suivi par le SCH ; les autres 8 trames sont affectées entre les BCCH (4 trames) et les AGCH ou PCH (9 x 4 = 36 trames). Les 36 trames sont également réparties logiquement en 9 blocs de recherche de 4 trames (= "paging block") et chaque MS est affecté à 1 bloc. - Le débit utile des canaux logiques BCCH, AGCH/PCH est = $4 \times 114 \text{ bits}/235\text{ms} = 1,94 \text{ kbit/s}$.

Il y a d'autres structures possibles pour les multitrames ; chaque structure étant adaptée aux conditions de trafic dans la cellule. Par exemple, si le trafic est intense, le TS 0 de la porteuse BCCH peut être insuffisant pour le trafic BCCH/CCCH et les TS 2, 4, 6 sont mis en oeuvre ; si le trafic est faible, on utilisera par contre la combinaison (5).

5.2 Canal de signalisation et canaux de trafic

Lors de la mise sous tension d'un téléphone mobile, il commence par scruter les différents canaux dans les bandes GSM afin de déterminer ceux qui sont effectivement des BCCH (par décodage de certains bits). Ensuite, le téléphone détermine, parmi les BCCH captés, celui dont l'intensité est la plus élevée. En principe, il s'agit du BCCH émis par la BTS la plus proche ou, du moins, celle dont le signal présente la meilleure qualité. Le téléphone mobile signale alors au réseau qu'il se trouve dans la cellule correspondant à ce BCCH ; ce numéro de cellule est mémorisé dans la base de données du MSC ; lorsque ce téléphone mobile est appelé, le MSC dirige l'appel vers la BTS de cette cellule. Tant qu'il est allumé (c'est-à-dire en communication ou en veille), le téléphone mobile reste en permanence à l'écoute du BCCH de la cellule. Lorsque le téléphone détecte une détérioration du niveau (ou de la qualité) de la réception du BCCH sur lequel il est « accroché », il se met à l'écoute du BCCH des cellules voisines ; lorsque l'intensité de l'un de ceux-ci est plus élevée, la communication est transférée vers la BTS de la cellule correspondante. Ce mécanisme est appelé « handover » ; il s'effectue aussi bien lorsque le mobile est en veille que lorsqu'il est en communication.

BCCH Allocation List ou BA_List

Une fois qu'il est connecté à un réseau GSM, c'est à dire qu'il est "calé" sur la voie balise (encore appelée "BCCH") de la cellule courante, le mobile ne recherche pas en permanence tous les canaux sur lesquels sont susceptible de se trouver d'autres fréquences balises avoisinantes exploitables dans la zone où il se trouve : En effet, entre les 124 canaux GSM-P en 900 MHz, mais aussi les 374 canaux GSM en 1800 MHz, le nombre de fréquences à "scanner" serait trop élevé, entraînant une dépense d'énergie conséquente, mais aussi inutile, la quasi-totalité des réseaux ne s'étant vu attribuer qu'une portion réduite du spectre utilisable, correspondant à un nombre limité de fréquences.

Ainsi, il revient à la cellule courante de diffuser une liste limitative de canaux, parmi lesquels le mobile devra rechercher et sélectionner en permanence les six à huit (selon les modèles) meilleures cellules candidates, dans le but d'être à même d'en changer si la nécessité s'en fait sentir (rappelons que la resélection de cellule se fait à l'initiative du mobile en veille, et à celle du réseau en communication). C'est cette liste de canaux, diffusée à l'initiative du réseau, que l'on nomme "BA_List" (pour "BCCH allocation list").

Si le mobile se trouve en veille, c'est à travers les SYS_INFO 2, 2bis ou 2ter (en fonction de la ou les bande(s) de fréquences à laquelle/auxquelles appartiennent les canaux considérés) que sera diffusée la BA_List, via le BCCH (Broadcast Control CHannel).

Si le mobile se trouve en communication, les informations relatives à la BA_List seront transmises par les SYS_INFO 5, 5bis ou 5ter à travers le SACCH (Slow Associated Control Channel) associé au canal dédié (SDCCH – canal de signalisation, ou TCH – canal de parole/de data) par lequel le mobile communique avec le réseau.

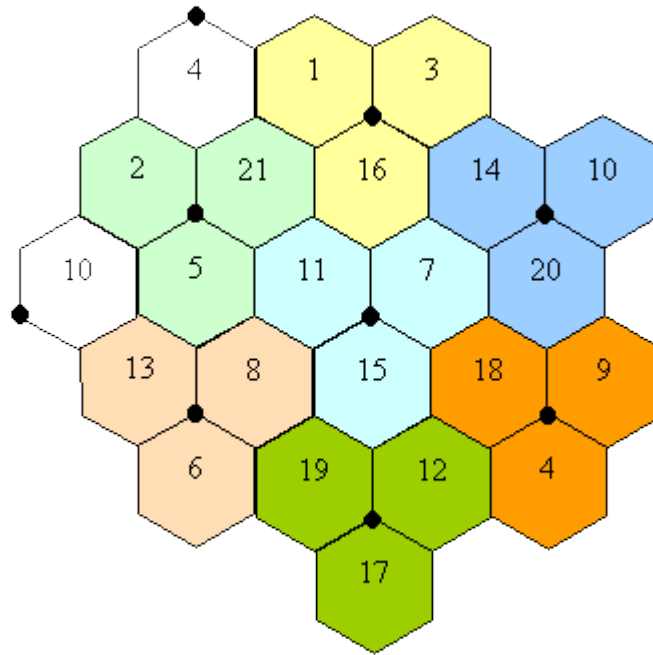
Dans l'hypothèse où la BA_List ne correspond pas (ou plus) à l'environnement dans lequel évolue un mobile en déplacement (parce-qu'aucun des canaux qu'elle indique ne correspond à une voie balise exploitable dans la zone dans laquelle il se trouve désormais), le mobile est condamné perdre momentanément le réseau s'il sort de la cellule courante :

- En veille, le mobile opère une "resélection critique", c'est à dire qu'il se met à rechercher rapidement une voie balise appartenant au réseau sur lequel il était préalablement connecté en "scannant" tous les canaux disponibles dans la/les bande(s) de fréquence qu'il supporte (mais pendant ce temps, il ne peut émettre ni recevoir d'appels),
- En communication, le mobile perd progressivement le contact avec la station de base, puis, lorsque la liaison est trop dégradée pour permettre un décodage du signal envoyé par la BTS, il retourne à l'état de veille à l'issue d'un délai fixé par un "timer" interne. En effet, le réseau ne peut initier un handover vers une autre cellule que si cette dernière est reçue par le mobile avec un niveau de champ suffisant, son BCCH étant, en outre, intégralement décodé : Pour ce faire, ladite "cellule candidate" doit avoir été au préalable sélectionnée comme telle par le mobile, ce qui n'est possible que si le n° de canal de sa voie balise correspond à l'un de ceux transmis à travers la BA_List.

Exemple d'application :

Le motif pris en exemple est donc un motif à 21 VB (figure 13) en 900 MHz réparties sur 7 sites macrocellulaires trisectorisés (une couleur par site). Les deux cellules "blanches" – VB 4 et 10 – constituent les deuxièmes cellules adjacentes à la VB 11 du site bleu clair, qui fait office de "cellule de référence" (ré-allocation de fréquences)

Si l'on décide d'introduire dans la BA_List de la VB 11 ses premières et ses deuxièmes cellules adjacentes, et ce, afin de prévoir le « saut » éventuel, par le mobile, de la première cellule adjacente en veille (ou même en communication, dans un cas de saturation ponctuelle, par exemple), on obtient donc une BA_List comprenant 18 canaux en tout (21, 5, 8, 15, 7, 16 pour ce qui est des premières cellules adjacentes et 4, 2, 10, 13, 6, 19, 12, 18, 20, 14, 3, 1 pour ce qui est des secondes cellules adjacentes).



✎✎✎◆□ℳ 📁📄 📁 Sectorisation

Néanmoins, dans le souci de limiter le nombre total de canaux dans la BA_List, sachant que l'utilisation d'aériens directifs sur des sites à-priori trisectorisés (sans doute la configuration la plus répandue en pratique qui consiste à placer au nœud des cellules trois antennes relais directives) est de mise dans notre modèle, on peut alors décider de ne pas introduire, dans la BA_List de la cellule courante, les trois "secondes cellules adjacentes arrière". Exit, donc, les canaux correspondants (12, 18 et 20 dans notre exemple). Il est vraisemblable que cette "économie" pourra être réalisé dans un nombre non négligeable de cas. De même, l'introduction de quelques stations bi ou monosectorisées dans le motif pourra également permettre, ponctuellement, de réduire la longueur de certaines BA_Lists.

Cependant, plusieurs exceptions à la limitation du nombre de canaux déclarés doivent être envisagées, par exemple dans la situation, fréquente dans les grandes villes, où la propagation est fortement marquée par la présence de réflexions, provoquant un champ élevé dans la direction opposée au lobe principal de l'aérien directif considéré.

Pour être réellement efficace, selon ce modèle, une BA_List urbaine monobande devrait donc, en principe, comporter entre 15 et 18 canaux en moyenne, hors le cas des VB d'éventuelles micro-cellules du voisinage, selon que l'on compte ou non les trois secondes cellules adjacentes arrière.

Dans l'hypothèse où toutes les stations sont b bande, en reprenant un motif à 21 (au moins) pour planifier les VB 1800 MHz, on doit donc avoir 16 à 19 fréquences de plus dans la BA_List (il faut en effet ajouter la cellule 1800 « jumelle » de la cellule 900 prise comme référence).

Cela conduit donc à des BA_Lists urbaines, pour un réseau intégralement b bande, de 31 à 37 canaux en moyenne, lorsque toutes les premières et secondes cellules adjacentes considérées sont

900/1800, hors présence de micro-cellules, en fonction de la déclaration ou non des trois secondes cellules adjacentes arrière dans chaque bande.

Lorsque le réseau est en cours d'équipement bibande, la longueur des BA_Lists devraient donc , en toute logique, comprendre, dans la plupart des cas, entre 16 et 36 canaux en fonction du niveau d'équipement, et si l'on considère qu'un ou plusieurs secteurs de certains sites – y compris celui dont dépend la cellule courante - peuvent ne pas être "passés" immédiatement en bibande.

Si plusieurs micro-cellules ont également été installées dans la zone considérée, les BA_Lists les plus longues susceptibles d'être rencontrées sur des cellules appartenant à une couche macrocellulaire bibande devraient donc pouvoir tourner autour de 37 à 43 canaux, contre 21 à 24 canaux seulement en cas de couche macrocellulaire monobande, si l'on considère que, pour les VB des micro-cellules, majoritairement planifiées en dehors du motif macrocellulaire à 21, la déclaration de 6 fréquences supplémentaires est en moyenne suffisante (sauf dans quelques cas ponctuels, par exemple en présence de micro-cellules indoor elles-mêmes bibande et/ou si la zone considérée est exceptionnellement dense).

Dans les zones urbaines très denses (en prenant exemple sur la vingtaine de micro-cellules Orange présentes dans, ainsi qu' autour de la gare Montparnasse à Paris), on peut en effet penser qu'en moyenne une demi-douzaine de micro-cellules, indoor comme outdoor, dont les voies balise sont exclusivement planifiées sur des fréquences différentes les unes de autres, seront présentes et directement exploitables dans la zone à l'intérieur de laquelle la macro-cellule prise comme référence sera susceptible d'être prioritairement sélectionnée en veille ou en communication.

Dans la pratique, il sera sans doute nécessaire de déclarer également plusieurs secondes cellules adjacentes, voir même un peu plus, dans le cas de sites "parapluie" installés sur des points hauts très dégagés. On pourrait alors, dans certains cas particuliers, se retrouver avec des BA_Lists pouvant comporter jusqu'à 25 canaux environ, notamment sur certaines cellules omnidirectionnelles dont la zone de service recouvre plusieurs séries de cellules "secondaires" dont le rayon d'action est moins important.

Enfin, dans le souci de laisser toute latitude au réseau pour initier des handovers dans les configurations les plus diverses entre cellules partageant tout ou partie de leurs zones de service (en cas de déplacement de la MS, et/ou dans le but d'affiner la gestion de la répartition de la charge du trafic au sein d'une zone déterminée, etc.), il nous paraît souhaitable que les données relatives aux BA_Lists, et diffusées par le SYS_INFO 5/5bis/5ter en communication, soient les plus complètes possibles, et, de ce fait, puissent éventuellement comporter un nombre de canaux supérieur à celui fourni à travers le SYS_INFO 2/2bis/2ter en veille

Réglage de puissance (Power control)

Le réglage de puissance permet l'utilisation d'une puissance émettrice minimale pour chaque liaison tout en garantissant la qualité de celle-ci. La pile du téléphone mobile est ainsi moins sollicitée, et l'interférence entre les cellules est réduite dans l'ensemble du réseau. Cette fonction est implémentée par défaut sur les téléphones mobiles et, en général, aussi sur la station de base.

Dans ces conditions, la puissance émettrice de la station de base est réglée séparément pour chaque intervalle de temps. La puissance émettrice totale d'une station de base dépend donc non seulement du nombre de communications vocales en cours, mais également du lieu où se trouvent les téléphones mobiles concernés. Dans le cas des stations de base GSM, le BCCH, qui émet à puissance constante, fait exception.

Le Rx level, (niveau de réception) est une mesure quantitative du niveau de champ reçu sur le canal BCCH en veille. Le BCCH, est toujours émis à puissance constante depuis la BTS et il n'est pas soumis au saut de fréquence. C'est la mesure certainement la plus connue des utilisateurs de mobiles, sa visualisation se fait sur un bargraphe indiquant le niveau de réception du réseau. Pour les mobiles pratiquant le "netmonitoring" (cf. TP Sagem Trace), des chiffres précis donnent l'état de réception de la BTS. En veille, le mobile mesure le champ, en moyennant les 8 "burst" BCCH, de 2 multi-trame_51 reçu.

En veille, le mobile va non seulement mesurer la BTS sur laquelle il est campé, mais aussi les BTS aux alentours pour pouvoir préparer le cas échéant la sélection d'une autre BTS. Le réseau fournit au mobile la liste des BTS qu'il doit écouter et mesurer dans une "BCCH allocation list" diffusé sur le canal BCCH de la BTS d'accroche.

Lors d'une communication, le mobile peut effectuer sur demande du réseau, une augmentation ou une diminution de son émission par pas de 2 dBm toutes les 60 ms. Ce changement sur l'initiative du réseau, résulte d'une lecture des remontées de mesures effectuées par le mobile toute 480 ms sur le canal [SACCH](#) (soit toutes les 4 multi_trame26 = 104 trames [TDMA](#))

Critère C1 :

Le critère C1 est un paramètre vérifiant que la cellule sélectionnée est toujours parfaitement reçue et qu'elle ne subit pas un affaiblissement trop fort par rapport à d'autres cellules avoisinantes. Pour vérifier cette hypothèse, le critère C1 est composé de 2 parties. Une partie définissant les capacités du mobile et une autre celles de la BTS.

L'équation vérifie la liaison descendante et montante. Ce critère s'écrit comme suit :

$$C1 = (RxLev - RX_Access_Min - \text{MAX} (\text{Max_TXPWR_Max_CCH} - \text{Max. mobile RF Power}, 0)$$

RxLev : Niveau de champs reçu sur le canal BCCH en veille et en communication sur les canaux TCH, SACCH, SDCCH et FACCH (en dbm)

RX_Access_Min : Niveau minimum autorisé par la BTS pour que le mobile puisse s'accrocher à elle (en dbm).

Max_TXPWR_Max_CCH : Paramètre fixant la puissance à laquelle le mobile doit émettre lors de l'accès initial à une cellule. Si ce paramètre est supérieur à la classe de puissance du mobile, celui-ci émet à sa puissance maximale (30 dbm pour un 1W, 33 dbm pour un 2W et 39 dbm pour un 8W).

Max. mobile RF Power : Puissance maximal avec laquelle le mobile est capable d'émettre vers la BTS, ce paramètre est défini par la classe du mobile (30 dbm pour un 1W, 33 dbm pour un 2W et 39 dbm pour un 8W).

Exemple d'application :

BTS paramétrée pour des mobiles 2W (33 dBm) avec un Rx_Access_Min de -103 dbm et un mobile 2W affichant un RxLevel de -80 dbm

$$C1 = ((-80 \text{ dbm}) - (-103 \text{ dbm})) - \text{Max}((33\text{dbm})-(33\text{dbm}),0)$$

$$C1 = (23) - \text{Max}(0,0)$$

$$C1 = 23$$

Critère C2 :

Le critère C2, appelé critère de re-sélection est implémenté en phase 2. Il a pour fonction de favoriser ou de défavoriser une cellule candidate à la re-sélection pendant un temps donné. Lorsqu'il est présent, le critère C2 remplace le critère C1 pour la re-sélection de cellule, le critère C1 fait partie de l'équation du critère C2 :

Si Penalty_Time < 31 (620s) :

$$C2 = C1 + (\text{Cell_Reselect_Offset} - (\text{Temporary_Offset} \times \text{Penalty_Time})).$$

Si Penalty_Time = 31 (620s) :

$$C2 = C1 - \text{Cell_Reselect_Offset} .$$

Cell_Reselect_Offset : Valeur de l'offset permanent ajouté à C1.

Temporary_Offset : Offset temporaire servant à défavoriser une cellule le temps du Penalty_Time.

Penalty_Time : Durée pendant laquelle le Temporary_Offset va être appliqué.

Le but du Penalty_Time, est de pouvoir défavoriser une cellule par rapport à une autre, afin d'éviter que le mobile ne la sélectionne alors que sa vitesse de déplacement va faire qu'il va effectuer une re-sélection dans un court laps de temps. Il est souvent utilisé sur des micro-cellules pour que seul les mobiles statiques ou à faibles vitesses les sélectionnent. Un mobile se déplaçant à vive allure engendrerait deux "Hand Over" lors d'une communication alors qu'ils pourraient être évités.

Un autre critère joue sur la re-sélection de cellules aussi bien avec les critères C1 que C2, c'est le Cell_Reselect_Hysteresis. Son but est d'éviter les effets "Ping-pong" entre deux cellules n'appartenant pas à la même zone de localisation. Si en veille la bascule entre deux cellules d'une même zone n'a aucune incidence sur le réseau, en revanche elle produit des échanges de signalisation entre le réseau et le mobile entre deux zones différentes. Le

Cell_Reselect_Hysteresis va artificiellement déplacer la frontière entre deux cellules. Au lieu d'être centrée entre les deux dans le cas classique, la frontière va se trouver à l'extrême limite de la cellule courante. Ce procédé garantit un faible taux de re-sélection de la cellule précédente, évitant ainsi un trafic inutile; Mais c'est au détriment de l'optimisation de la re-sélection, car la bascule va se produire alors que le Rxlev aura déjà bien chuté. Le Cell_Reselect_Hysteresis n'existe que pour la re-sélection de cellules en veille, car lors d'une communication il y a de toute façon des échanges de signalisations à chaque changement de cellules, qu'elles soit dans la même zone ou non.

La cellule courante va se voir attribuer un critère C1 et C2 augmenté de la valeur du

Cell_Reselect_Hysteresis, de 2 à 14 dbm supplémentaire par pas de 2dbm. Dans le cadre de la re-sélection classique d'une cellule par un mobile, la bascule ne peut se faire que toutes les 5 secondes au minimum, avec deux cellules de zones différentes venant d'être re-sélectionné par le mobile, le temps d'attente avant re-sélection vers l'ancienne cellule est portée à 15 secondes mais reste à 5 secondes pour les cellules de la même zone.

Saut de fréquence (Slow frequency hopping)

A chaque nouvel intervalle de temps GSM, l'émetteur et le récepteur passent sur un(e) autre des canaux (fréquences) à disposition. Ainsi, dans le cas de la propagation à plusieurs voies, la liaison est moins sensible aux perturbations. Le nombre de fréquences utilisées de la sorte peut être plus élevé que dans le cas d'un système sans sauts de fréquences de même puissance d'émission. Pour l'extrapolation au mode d'exploitation déterminant, ce n'est toutefois pas le nombre de canaux effectivement utilisés qui est décisif dans le cas des systèmes à sauts de fréquences, mais le nombre de canaux pouvant être actifs en même temps.

Transmission discontinue (Discontinuous transmission) : Mode DTX

Lorsque cette fonction est enclenchée, le système vérifie, en permanence, s'il existe un signal de communication vocale. Le taux de transfert de données est réduit en cas de silence de l'interlocuteur, économisant ainsi la capacité de la pile. A la place du signal vocal, un bruit de fond synthétique (comfort noise) est introduit afin que le partenaire n'ait pas l'impression que la conversation est interrompue. Il est possible d'installer cette fonction dans les deux directions de transfert (uplink et downlink).

VI. Evolutions

Afin de répondre à la demande en débits de transmission nettement plus élevés que les 9,6 kBit/s proposés à l'origine par le GSM, le système a été fondamentalement étendu. Le principe des nouvelles fonctionnalités HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) et GPRS (General Packet Radio Service) est le groupage du canal : plusieurs intervalles de temps sont attribués à une communication particulière. De cette façon, le débit de transmission des données d'un usager particulier peut être largement augmenté.

Outre le groupage du canal, de nouveaux codages du canal (protection de l'interface radio), et avec EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), même un nouveau type de possible sur l'interface radio peut être adapté de façon optimale aux conditions de transmission du moment (perturbations, distance entre station de base et téléphone portable, etc.).

Le groupage du canal en uplink, c'est-à-dire l'occupation simultanée de plusieurs intervalles de temps par l'usager, augmente la puissance d'émission moyenne du téléphone portable pendant une liaison.

6.1 HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

Comme son nom l'indique, le HSCSD est un service de transmission de données par ligne commutée. Il permet à un seul usager d'occuper jusqu'à quatre intervalles de temps d'une porteuse. Vu que le débit net de données par intervalle de temps s'élève à 9,6 kBit/s ou à 14.4

kBit/s – selon le codage du canal –, les usagers peuvent disposer d'un débit allant jusqu'à 57.6 kBit/s. Ce service de données est relativement simple à installer dans les réseaux GSM existants, car l'actuel réseau GSM central est déjà préparé pour recevoir des services de transmission de données par des lignes commutées fonctionnant à un débit de 64 kBit/s. Les usagers ont toutefois besoin de nouveaux téléphones portables ou de nouvelles cartes enfichables par ordinateur.

6.2 GPRS (General Packet Radio Service) : Evolution du GSM

Le GPRS ne constitue pas à lui tout seul un réseau mobile à part entière, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant. Il peut donc être installé sans aucune licence supplémentaire. Ceci signifie que tous les opérateurs qui disposent d'une licence GSM peuvent faire évoluer leur réseau vers le GPRS. L'ART n'a d'ailleurs pas fait d'appel d'offre pour le GPRS alors qu'elle en a fait pour l'UMTS.

De plus, le GPRS utilise les bandes de fréquences attribuées au GSM. C'est à dire une bande dans les 900 MHz, une autre dans les 1800 MHz et enfin une troisième pour les USA, dans les 1900 MHz. Les opérateurs GSM actuels ont de fait un quasi monopole sur le GPRS, ce qui n'est pas le cas pour l'UMTS.

Le GPRS, appelé aussi GSM 2+, repose sur la transmission en mode paquet. Ce principe déjà, retenu par exemple pour le protocole X.25, permet d'affecter à d'autres communications les "temps morts" d'une première communication (attente d'une réponse à une requête Internet par exemple).

Conçu pour réutiliser au maximum les infrastructures GSM existantes, le déploiement du GPRS nécessite la mise en place d'une infrastructure réseau basée sur la commutation de paquets et l'introduction de passerelles pour s'adosser aux réseaux GSM existants.

Cette technologie, capable de fournir des débits par utilisateur allant jusqu'à 115 kb/s (contre 9,6 kb/S pour le GSM), offre des fonctionnalités intéressantes :

- plusieurs canaux peuvent être alloués à un utilisateur ;
- ces mêmes utilisateurs peuvent partager un même canal ;
- le débit est indépendant des liens montant et descendant.

Les débits réels envisagés seraient dans un premier temps de l'ordre de quelques dizaines de kb/s. Théoriquement, le service de transmission de données par paquets GPRS permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 171,2 kBit/s, mais cela exige des conditions de propagation optimales. Or, les débits de transmission prévus dans les réseaux réels se situeront – du moins au début – bien en dessous de cette limite supérieure théorique. Au lieu qu'un canal soit mis exclusivement à la disposition d'un usager pour toute la durée d'une communication, le GPRS permet de ne solliciter la capacité du canal radio que lorsqu'il y a réellement des données à transmettre. L'efficacité du spectre du système s'en trouve accrue, car la capacité du réseau est disponible au même moment et en tout temps pour tous les utilisateurs. Par ailleurs, de nouveaux modèles de calcul des taxes peuvent être introduits. Un usager a par exemple la possibilité d'être relié en permanence à un serveur de manière logique (always-on), tout en ne payant que les données qui lui ont été physiquement transmises (taxe au volume). Conséquence : les établissements et libérations prolongés de liaison sont supprimés. Ce principe du "always-on" rendu possible grâce au GPRS permet d'étendre le GSM à l'internet mobile.

Services / Possibilités / Limitations

Alors que le GSM version WAP s'arrête à la consultation des pages Internet, le GPRS permet d'élargir l'offre de services. Outre l'accès à Internet (ou Intranet), à partir des mobiles traditionnels, il permet un meilleur accès aux e-mails comportant des fichiers joints. Le mobile, dans ce cas, est considéré comme un modem, et doit être associé à un ordinateur portable ou un assistant personnel.

Le troisième domaine concerne les applications professionnelles de transfert de données et de sécurité. La connexion ouverte en permanence du GPRS et le mode de taxation offrent à ceux qui font de la télémaintenance, de la télésurveillance et de la téléalarme, des opportunités intéressantes. On trouvera donc la norme GPRS dans les horodateurs, dans les ascenseurs (télésurveillance), dans les distributeurs de boissons ou de billet (vente, télésurveillance, gestion des stocks, réactualisation des prix), pour surveiller les sites industriels ainsi que les locaux professionnels et privés.

Aujourd'hui, le débit d'un réseau GSM standard en mode "connecté" ne dépasse pas 9,6 kbit/s, voire 14,4 kbit/s par implantation de logiciels spécifiques. Il est cinq fois moins rapide que celui du réseau filaire standard, qui autorise 56 kbit/s avec un modem V90.

Avec le GPRS, on dispose d'un débit compris entre 40 et 115 kbit/s. Tout dépend du nombre de canaux virtuels ou "time slots" utilisés, et du schéma de codage. Ce dernier agit sur la compression des données comme un multiplicateur de débit.

Trois types de terminaux ont été définis pour répondre aux besoins du GPRS : le modèle de base (classe B) est prévu pour la voix et les données en mode non simultané. Le modèle professionnel ou industriel (classe C) est data exclusivement (le terminal est utilisé comme un modem). Enfin le haut de gamme (classe A) est compatible voix/data simultanément.

Fonctionnement et caractéristiques techniques

Le premier avantage du GPRS est de permettre une meilleure utilisation des ressources radio et techniques. Alors que le GSM actuel fonctionne en mode "connecté", appelé également mode "circuit", le GPRS utilise pour sa part le mode de connexion virtuel. En mode "virtuel", les ressources sont partagées. Le canal de transmission n'est jamais affecté à un utilisateur unique, mais partagé entre un certain nombre d'utilisateurs. Chaque utilisateur en dispose lorsqu'il en a besoin et uniquement dans ce cas. Le reste du temps elles sont disponibles. Le mode "connecté" quant à lui correspond au fonctionnement d'une ligne GSM ou encore d'une ligne téléphonique standard. Il consiste à établir un lien physique entre deux points ou deux correspondants. Une fois le numéro d'appel composé, un circuit est affecté en permanence à la communication, sans aucun partage avec les autres clients. Ce mode de fonctionnement qui ne tient pas compte des périodes de silence, lorsque aucune donnée n'est transmise, n'optimise pas au mieux les ressources radio.

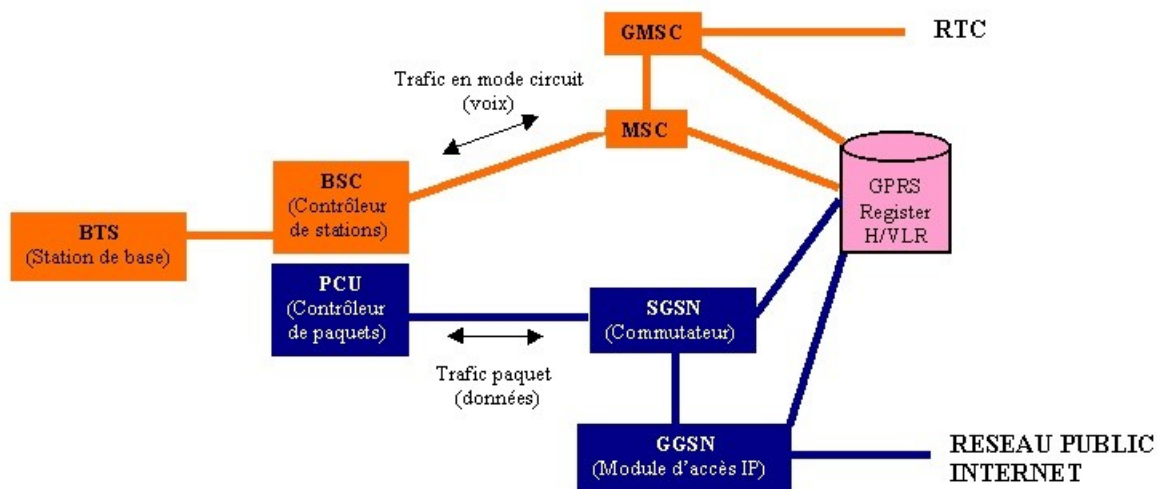
De plus ce mode de fonctionnement entraîne une facturation à la durée. Chaque communication est comptée (et facturée) du décroché, jusqu'au raccroché. Le mode d'allocation dynamique des ressources présente donc également l'avantage de permettre une facturation calculée à partir du volume des informations (paquets) échangées et non plus à partir de la durée de la communication. Lors d'une session de consultation sur Internet par exemple, seul le volume des données échangées sert pour l'élaboration de la facture et la durée de la communication

n'intervient pas. Ceci revient à dire que l'utilisateur peut consulter les pages reçues sans coût supplémentaire. Précisons que ce mode de tarification, qui s'apparente à celui du réseau Transpac, n'est pas proposé sur le réseau public commuté.

Le GPRS met en évidence le rôle plus important du gestionnaire de réseau. Dans une infrastructure GSM le rôle du gestionnaire se résume à affecter des ressources physiques au début de chaque communication. Avec le GPRS, son rôle est plus important. Il consiste à allouer en temps réel des ressources physiques (mémoires et circuits électroniques), à gérer les ressources radio, et à les affecter en fonction de la demande.

L'implantation du GPRS peut être effectuée sur un réseau GSM existant. Les stations de base ne subissent aucune modification si ce n'est l'adjonction d'un logiciel spécifique, qui peut être installé par téléchargement.

Plus en amont, le contrôleur de stations de base doit être doublé par un contrôleur de paquets (PCU pour Paquets Controler Unit). Vient ensuite, la chaîne destinée aux données par paquets, constituée du commutateur (SGSN) ou Switch spécifique GPRS, équivalent du Mobile Switch Controler (MSC), contrôleur qui a pour fonction de vérifier l'enregistrement des abonnés, de les authentifier et d'autoriser les communications, et du module d'accès (GGSN) au monde IP (Internet ou Intranet).



Structure d'un réseau GPRS

- GGSN : *Gateway GPRS Support Node* ou Routeur IP s'interfaçant avec les autres réseaux.

Le GGSN est la fonctionnalité d'interconnexion dans le centre de communication (MSC), qui permet de communiquer avec les autres réseaux de données extérieurs au réseau GSM. Le GGSN masque au réseau de données les spécificités du GPRS. Il gère la taxation des abonnés du service, et doit supporter le protocole utilisé sur le réseau de données avec lequel il est interconnecté. Les protocoles de données supportés en standard par un GGSN sont IPv6, CLNP et X25.

➤ SGSN : *Serving GPRS Support Node* ou Routeur IP gérant les terminaux pour une zone.

Le SGSN (Serving GPRS Support Node) est la fonctionnalité du service dans le centre de commutation (MSC), qui permet de gérer les services offerts à l'utilisateur. Le SGSN est l'interface logique entre l'abonné GSM et un réseau de données externe. Ses missions principales sont, d'une part la gestion des abonnés mobiles actifs (mise à jour permanente des références d'un abonné et des services utilisés) et d'autre part le relais des paquets de données. Quand un paquet de données arrive d'un réseau PDN (Packet Data Network) externe au réseau GSM, le GGSN reçoit ce paquet et le transfère au SGSN qui le retransmet vers la station mobile. Pour les paquets sortants, c'est le SGSN qui les transmet vers le GGSN.

Ces modifications mineures de l'infrastructure soulèvent deux remarques :

- La première est que, comme nous l'avons déjà signalé, sans licence GSM (ce qui revient à dire sans réseau GSM), il n'est pas possible d'installer un réseau GPRS.
- La deuxième remarque concerne l'UMTS, le réseau de troisième génération qui suivra le GPRS. Il pourra réutiliser une partie du réseau GSM, notamment la partie qui permet l'accès au monde IP.

6.3 EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

Installé en 2002, l'introduction de EDGE a permis de tripler tous les débits de données grâce à une technique de modulation améliorée (8-PSK). EDGE sera certainement utilisé principalement en relation avec le GPRS (voir ci-dessus), raison pour laquelle ces services s'appelleront EGPRS (Enhanced GPRS). Les avantages des types de modulation et des codages de canal de EDGE peuvent également être utilisés avec le HSCSD (voir ci-dessus). On parle alors de services ECSD (Enhanced Circuit Switched Data). L'EDGE est la solution adoptée par Bouygues Telecom pour proposer des services multimédia à 384 kbps, ce qui autorise les applications vidéos.

6.4 Du GSM à l'UMTS

Aujourd'hui, les normes de deuxième génération permettent une couverture presque globale des territoires. Pour ce faire, trois types de cellules sont utilisées : des macro-cellules de 30 km de rayon environ, des micro-cellules de 500 m de rayon et des pico-cellules de 100 m.

L'UMTS, parce qu'il opère à une fréquence plus élevée et avec des débits à la fois variables et importants, nécessite des cellules de taille nettement plus petite que les macro-cellules actuelles, qui pourraient être de quelques centaines de mètres. Cela conduira à un réseau au coût plus élevé, onéreux en infrastructures.

Par conséquent, l'UMTS se développe dans un premier temps, dans des îlots de couverture (milieu urbain, centres d'affaires, etc.) et se généralisera par un déploiement progressif, permettant des investissements incrémentaux.

La 3ème génération s'appuie donc sur la 2ème génération pour la couverture globale. L'objectif est d'obtenir une couverture maximale, telle qu'en tous lieux, les services UMTS soient

accessibles à haut débit dans les îlots UMTS ou en mode dégradé lorsque le mode GSM prend le relais. Cela implique une interopérabilité maximale avec le GSM, de façon transparente, et des terminaux multimodes GSM/UMTS pour passer d'îlots en îlots tout en respectant une certaine continuité de service.

La norme GSM évolue actuellement à la fois pour accroître le débit binaire et pour introduire de nouveaux modes (GPRS). Mais pour le futur réseau UMTS, l'interface radio terrestre reposera sur une nouvelle interface radio - UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)- distincte de celle du système GSM. Une décision de compromis a été prise par l'ETSI (Institut Européen de Normalisation des Télécommunications) :

- Le protocole WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a été choisi pour les bandes de fréquences appariées ;
- Le protocole TD/CDMA (Time Division/Code Division Multiple Access) a été retenu pour les bandes de fréquences non appariées (applications à faible portée, téléphone sans cordon, débits fortement asymétriques).

Le débit de l'interface dépend de l'environnement d'utilisation :

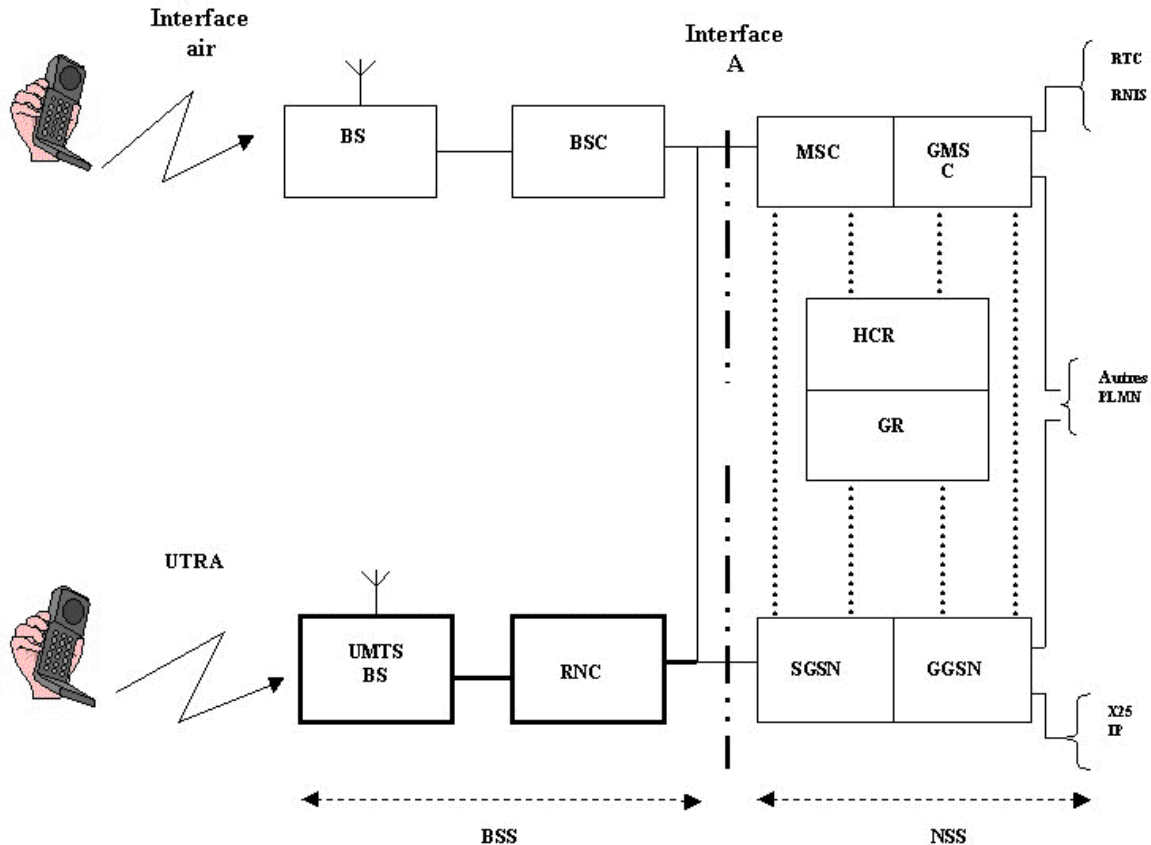
- Dans une zone rurale : au moins 144 kbit/s, l'objectif étant de 384 kbit/s ;
- Dans un espace urbain : au moins 384 kbit/s, l'objectif étant de 512 kbit/s ;
- Dans un immeuble : au moins 2 Mbit/s.

L'interface UTRA doit offrir une négociation des attributs de services (type de support, débit, taux d'erreur, délai de transmission de bout en bout, etc.), des supports de services orientés circuits et paquets, la gestion de priorité sur l'interface radio, l'adaptation de la liaison à la qualité et à la charge du réseau.

L'interface UTRA doit offrir un hand-over sans coupure du réseau d'un opérateur UMTS vers celui d'un autre opérateur UMTS, mais aussi vers un réseau GSM de la seconde génération.

Structure du réseau

L'introduction de l'UMTS est possible en gardant le même réseau - et la même gestion globale (exploitation, mobilité, facturation). Il faut néanmoins installer de nouvelles BS. Le déploiement géographique se fera, par suite, en "taches de léopard".



Structure du réseau UMTS

VII. L'UMTS

Présentation

L'UMTS est la version européenne définie par l'ETSI (Institut Européen de Normalisation des Télécommunications) de la troisième génération des services mobiles (3G). Il devrait délivrer des débits compris entre 384 kb/s à 2 Mb/s.

En fait, cette norme est un membre de famille du projet IMT-2000 (International Mobile Telecommunication System 2000) défini par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications). Celui-ci a pour but de normaliser les systèmes de télécommunications mobiles de troisième génération qui assureront l'accès radioélectrique à l'infrastructure mondiale des télécoms, dans un contexte mondial d'itinérance. Il doit faire intervenir aussi bien les systèmes satellitaires que les moyens terrestres desservant les usagers fixes et mobiles des réseaux publics et privés.

Ainsi, les réseaux UMTS constitueront les systèmes de télécommunications mobiles et sans fil de troisième génération, capables d'offrir au grand public des services de type multimédia à débit élevé. Voici les objectifs que le parlement européen assigne au projet :

- **Pour les services :**
 - Capacités multimédia et mobilité sur une très grande étendue géographique
 - ;

- Accès efficace à Internet, aux intranets et aux autres services basés sur le protocole IP ;
- Transmission vocale de grande qualité, comparable à celle des réseaux fixes ;
- Portabilité des services dans les environnements UMTS différents ;
- Fonctionnement en mode GSM / UMTS à l'intérieur, à l'extérieur et dans des endroits extérieurs éloignés, sans solution de continuité, permettant une itinérance totale entre les réseaux GSM et entre les éléments terrestres et satellitaires des réseaux UMTS.
- **Pour les terminaux :**
 - Terminaux GSM / UMTS bimodaux et à deux bandes, si approprié ;
 - Terminaux UMTS bimodaux terrestres / satellite, si approprié.

Services

De nombreux services orientés données sont ou seront progressivement supportés par le GSM. En particulier les évolutions du GSM, telles que le GPRS (115 kb/s) ou EDGE (384 kb/s), permettront une première étape vers la transmission haut débit, et vers d'autres services tels que le courrier électronique, le télépaiement, le transfert de fichiers, l'accès Internet.

Toutefois, l'UMTS (384 kb/s pour tout le monde en mode mobile et 2 Mb/s en situation "fixe") fournira un meilleur compromis capacité/coût.

A moyen ou long terme, l'UMTS s'adressera au grand public. Dans ce cadre, la grande majorité des services qui seront proposés alors est encore inconnue. Ces nouveaux services répondront certainement à trois exigences :

- Contenus multimédia (exemples : jeux, loisirs) ;
- Mobilité ;
- Valeur ajoutée (il faut que le grand public soit prêt à payer le surcoût de ces services).

Un exemple de ces nouveaux services peut être donné par l'application de visiophonie. Le mobile permet de visualiser son correspondant ; ainsi le principe de visioconférence, réservé jusqu'ici aux professionnels, deviendra plus accessible pour le grand public.