

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET DE L'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ÉLECTRONIQUE

Mémoire de fin d'études

Présenté en vue de l'obtention du
Diplôme d'Ingénieur d'État en Électronique

Option :

Communication

Thème :

*Présentation du réseau GSM
et modélisation par le TEMSTM CellPlanner*

Proposé et dirigé par :
M. Y. AIT BACHIR

Présenté par :
Melle ALI SLIMANE Amel

Année universitaire : 2008 / 2009
Soutenu le :

Remerciements,

Un travail de fin d'études, suivant ma propre expérience, demande de la patience, du courage, de la volonté et du temps. Ce n'est pas toujours évident de les avoir. Mais heureusement, des compensations excisent pour réaliser l'équilibre. Pour ma part, elles se traduisent en la présence d'un excellent promoteur qui m'a toujours soutenu et qui a su me secouer et me guider. Je tiens donc à remercier particulièrement cet Homme que je respecte beaucoup, M. Y. AIT-BACHIR.

Mes remerciements sont aussi adressés à toute l'équipe Mobilis. Grâce à eux, mon stage a été, malgré toutes les contraintes, une vraie partie de plaisir. Près d'eux, j'ai pu apprendre. Leur confiance m'a permise d'avancer et d'apprécier encore plus ce domaine des Télécommunications. Je ne puis m'aventurer dans l'élaboration d'une liste exhaustive. Mais je remercie toute fois singulièrement :

M. A.K. FILLALI, M. A. ZEROUR (sous Directeur Pilotage et Exploitation), M. M. OUAFI (Directeur de Formation) et M. BOUDHANA de l'ARPT et à l'appelé "Krimo", qui, un jour, m'a demandé d'écrire son nom ainsi.

Sans oublier les consultants d'Ericsson au sein de Mobilis à l'image de M. M.R. DERAMCHI et M. D.E. BENHARIGA qui m'ont accordée le privilège de connaître, même sommairement, cette technologie mondiale.

Un mémoire de fin d'études évoque forcément des années d'études, je remercie donc tous les enseignants qui ont eu un jour à m'apprendre un bout de cet immense savoir.

Je remercie également les membres du jury qui auront la tâche de lire et d'évaluer mon travail.

À vous tous, un grand merci.

Dédicace,

Rien n'est plus difficile à écrire qu'une dédicace. On oublie forcément des personnes qui comptent pour nous et qui, à leur manière, ont contribué à la réalisation d'un projet et l'accomplissement d'un objectif, d'un rêve, ou même, d'une personnalité. Je m'excuse d'avance auprès de tous les êtres que j'omettrai sans le vouloir.

Ma dédicace première vous est forcément adressée à vous, mes parents ; c'est grâce à vos efforts, votre présence, votre soutien, votre éducation le long de toutes ces années, qu'aujourd'hui, je me sens privilégiée de pouvoir dédier un travail. J'espère en être digne et qu'un jour, je saurai vous rendre fiers.

Ce travail est aussi dédié à mes frères et sœurs que j'adore. La particularité de chacun d'eux fait partie d'un tout qui m'a aidé à grandir dans un milieu saint. Et ça, c'est une chose sans égale.

Tout comme j'émets une dédicace aux familles par alliances qui se retrouvent partie intégrante de notre vie de famille. Je remercie particulièrement M. M. Lagha et sa famille en or, M. R. Oudjoudi et M. H. Brahim-Ouali.

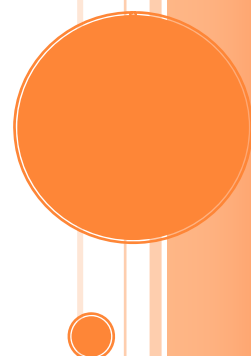
Une dédicace particulière est destinée à mon très cher ami Ahmed Djoudi que les mots ne sauraient jamais remercier assez.

Une pensée est éditée à toutes ces personnes auxquelles j'attribue le nom d'ami et qui se reconnaîtraient sans nul doute.

Que serait ma dédicace sans une pensée singulière à un ange. Mon petit neveu, « kiki ». Sa présence dans ma vie n'est que pur plaisir. Toutes mes pieuses pensées lui appartiennent. Dans les instant de peur, d'angoisse et de dépassement ; la seule idée de toi me remettait debout et me faisait sourire. Je t'adore 'ti ange, n'en doute jamais.

Amel Ali Slimane

SOMMAIRE



Sommaire

Chapitre I

Historique et évolution du GSM

I. Historique	2
II. Évolution	3

Chapitre II

Introduction générale

I. Concept cellulaire	4
<i>a. La distance de réutilisation</i>	<i>5</i>
<i>b. Facteur de réutilisation des fréquences.....</i>	<i>7</i>
<i>c. Taille et forme des motifs :.....</i>	<i>8</i>
<i>d. Évaluation du rapport C/I.....</i>	<i>8</i>
1. Concept de mobilité.....	12
2. Nécessité d'un handover	12
❖ .a. Rescue handover :	12
❖ b. Confinement Handover :.....	12
❖ c. Traffic Handover :	12
3. Types de handovers.....	12
❖ a. Handover Intra-BSC (<i>Base Station Controller</i>) :.....	12
❖ b. Handover Intra-MSC :	13
❖ c. Handover Inter-MSC :.....	13
❖ d. Handover Inter-System :	13
4. Exécution d'un Handover.....	13
5. Gestion de l'itinérance (<i>Roaming</i>)	14
II. Présentation et architecture du réseau GSM	18
1. La station mobile.....	18
2. Le sous-système radio (BSS – <i>Base Station Sub-system</i>)	20
3. Sous-système réseau (<i>Network Sub-System</i> – NSS)	23
4. Sous-système d'exploitation et de maintenance (<i>Operation Support Sub-system</i> – OSS)	24

A. Les régions géographiques d'un réseau GSM.....	25
B. Les interfaces du réseau GSM	25
❖ 1. L'interface Um.....	26
❖ 2. L'interface Abis	26
❖ 3. L'interface A	26
❖ 4. L'interface X.25	27
C. Pile de protocole du réseau GSM	27
DÉCOUPAGE DES FONCTIONNALITÉS RÉSEAU EN 7 COUCHES :	28
❖ Le protocole Call Control (CC) :	29
❖ Le protocole Short Message Service (SMS) :	29
❖ Le protocole Supplementary Services (SS) :	30
❖ Le protocole Mobility Management (MM).....	30
❖ Le protocole Radio Ressource management (RR) :	30
❖ Le protocole Link Access Protocol for the D channel.....	30
❖ Le protocole LAPDm	30
<i>Protocole MAP (Mobile Application Part)</i>	30
D. Synthèse sur le réseau GSM et DCS-1800	31
E. Services du réseau GSM.....	31

Chapitre III

Différents types de multiplexage dans le GSM

I. Introduction	32
Premier choix architectural : Découpage de la bande allouée.	32
Les types de multiplexage	33
1. Multiplexage fréquentiel (FDMA)	33
2. Multiplexage temporel (TDMA).....	34
II. Les canaux dans le GSM.....	43
1. Canal physique :	43
1.1. Canal physique simplex	43
1.2. Canal physique duplex	43
2. Canal logique :	44
2.1. Canaux de diffusions (<i>Broadcast Channel</i> – BCH) :	44
2.2. Canaux communs de contrôle (<i>Common Control Channel</i> – CCCH) :	44

2.3. Canaux dédiés :.....	45
III. Gestion de la ressource radio	46
Processus de sélection de cellule	46
1. Constitution d'une liste de voies balises candidates.....	46
2. Étude des voies balises candidates et choix d'une cellule	47
3. Sélection de PLMN.....	47
IV. Fonctionnement du GSM.....	60
1. Codage de la voix.....	61
2. Codage des canaux	62
Codes utilisés dans la norme GSM.....	62
3. L'entrelacement et la construction de bursts.....	64
4. Chiffrement ou cryptage	65
5. Modulation	66

Chapitre IV

La sécurité dans le GSM

1. Introduction.....	70
Numérotations liées à la mobilité	70
2. La sécurité dans le réseau GSM.....	74
2.1. Confidentialité de l'identité de l'abonné.....	74
2.2. Authentification et chiffrement	74
A. Authentification de l'abonné	74
B. Chiffrement de l'information.....	75
2.3. Entités du réseau où sont enregistrées les données de sécurité	77

Chapitre V

Présentation et architecture du GPRS

1. Introduction au GPRS.....	78
1.1. Débit théorique.....	78
1.2. Types de codage.....	78
1.3. Zone de couverture	79

1.4. Bandes de fréquences utilisées.....	79
1.5. Connexion permanente.....	79
1.6. Facturation au volume ou au contenu.....	79
1.7. Intégrité du transfert.....	80
1.8. Mécanismes de sécurité sophistiqués.....	80
1.9. Services.....	80
1.10. Classes de mobiles GPRS.....	80
1.11. GPRS, passage obligatoire vers l'UMTS.....	81
1.12. Changements apportés au GSM.....	81
2. Architecture du réseau GPRS.....	82
2.1. Nouveau terminal mobile.....	83
2.2. Classe multislot.....	83
2.3. Le réseau fédérateur du GPRS (<i>Backbone</i>).....	83
2.4. SGSN.....	83
<i>Rôle du SGSN</i>	83
2.5. GGSN.....	84
<i>Rôle du GGSN</i>	84
2.5. PCU.....	84
2.6. CGF.....	84
2.7. Les interfaces du GPRS.....	85
3. Les canaux dans le GPRS.....	86
3.1. Construction de burst dans le GPRS.....	87
3.2. Codage du canal dans le GPRS.....	88
3.3. Fonctionnement du GPRS.....	88
4. Exemples de connexion avec GPRS.....	91
4.1. Connexion d'un terminal fixe, relié au réseau IP, à un terminal mobile.....	91
4.2. Connexion d'un terminal mobile vers un terminal fixe relié au réseau IP.....	91

Chapitre VI

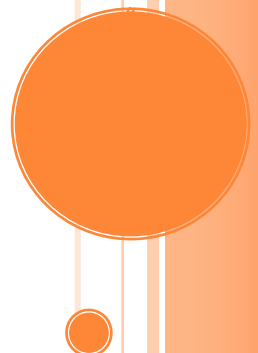
Planification cellulaire

I. Introduction.....	92
II. Présentation de l'équipement.....	92
1. RBS2000.....	92

2. TMA	94
3. Antenne	95
3.1. Isolation	95
3.2. Tilt	96
III. Couverture cellulaire.....	98
1. Puissance de signal requise	98
2. Niveau de signal désiré.....	98
2.1. Marges	99
2.2. Design levels.....	100
3. Validation de la couverture	103
3.1. General	103
3.2. Outdoor.....	103
3.3. In-car.....	104
3.4. Indoor.....	104
IV. Planification cellulaire.....	105
1. Modèles de propagation pour l'estimation	105
2. Bilan de liaison.....	105
3. Équilibre de puissance	107
3.1. Équilibre de puissance avec TMA à l'antenne	107
3.2. Équilibre de puissance sans TMA.	108
4. Taille de cellule	109
5. Présentation du TEMS™ CellPlanner	111
Création du projet GSM.....	112
Opérations intéressantes	123
Informations juridiques	123

Chapitre I

HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DU GSM



HISTORIQUE ET ÉVOLUTION DU GSM

Le GSM est conçu pour transmettre des appels téléphoniques, autrement dit pour des transmissions à faible débit. Certains choix techniques du GSM se révèlent toutefois contraignants pour les services de données (Transfert de fichiers, vidéo, etc.). Pour pallier ces limitations, le standard GSM évolue sans cesse. Une évolution majeure du GSM est normalisée sous le nom de GPRS (*General Packet Radio Service*) qui donne accès aux services internet à des débits importants. La deuxième amélioration du GSM est connue sous le nom de "EDGE" (*Enhanced Data for GSM Evolution*), il permet d'augmenter le débit de quelque centaines de Kbps.

En réponse à l'exigence croissante de consommateurs de plus en plus gourmands, exigeants et avides de nouvelles technologies, on assiste aujourd'hui à l'émergence de la troisième génération connue sous le nom d'UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*) offrant des services multimédias à plus haut débits.

Avant d'atteindre ce degré de performance technique, il a fallu concevoir tout ce réseau complexe qu'est le GSM, auquel nous consacrerons les trois premiers chapitres de notre travail, l'y présentant tout en détail, de son concept de base à son fonctionnement, comprenant les techniques de multiplexage adoptées, en passant par son architecture et les dispositifs de sécurité mis en place.

Aussi complexe le réseau GSM soit-il, des perfectionnements ont été opérés pour donner naissance à un réseau de transition à la troisième génération : le GPRS. Le chapitre quatrième lui étant entièrement consacré, il le présente brièvement, mettant l'accent sur les ajouts apportés au réseau de base.

La tête de pont en place, la troisième génération peut enfin voir le jour. Malgré les coûts monstres exigés par le déploiement d'une telle technologie, vue la cherté des équipements (aux environs de 800 milliards de dollars pour la première phase), des licences (5 milliards de dollars) et leur exclusivité réservée aux opérateurs disposant d'un réseau GSM en place, la majorité de ces derniers a pris l'initiative et le risque de miser sur cette technologie du futur.

Mobilis, filiale d'Algérie Telecom, premier opérateur algérien à avoir effectué des testes pilotes sur cette technologie, se voit comme ses concurrents (Djezzy et Nedjma), obligé de les arrêter sous ordre de l'ARPT (Autorité de régulation des postes et télécommunications).

Pour finir, un cinquième chapitre est ajouté. Ce dernier a pour objectif la réalisation d'un réseau GSM en s'appuyant sur un logiciel TEMS CellPlanner conçue par Ericsson et utilisé par Mobilis en passant par une présentation des équipements utilisés.

Une petite démonstration sera ajoutée pour appuyer ce travail.

I. HISTORIQUE

Le GSM, pour Global System for Mobile communications, est un système cellulaire et numérique de télécommunication mobile. Il a été rapidement accepté et a vite gagné des parts de marché telles qu'aujourd'hui plus de 180 pays ont adopté cette norme et plus d'un milliard d'utilisateurs sont équipés d'une solution GSM. L'utilisation du numérique pour transmettre les données permettent, des services élaborés, par rapport à tout ce qui a existé. On peut citer, par exemple, la possibilité de téléphoner depuis n'importe quel réseau GSM dans le monde. Les services avancés et l'architecture du GSM ont fait de lui un modèle pour la troisième génération de systèmes cellulaires, le réseau UMTS.

1982 :

Le GSM prend ses origines dans les années 80. Il fut initialement l'acronyme de "Groupe Spécial Mobile", groupe de chercheurs créé en 1982 par la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) avec la mission de concevoir un réseau cellulaire de téléphonie mobile dans la bande des 900 MHz, et l'élaboration de normes pour tout le continent européen.

1987 :

De nombreuses études ont été réalisées dans le but de définir le type de transmissions à utiliser dans ce réseau. En 1987, le groupe a pris la décision d'adopter des transmissions digitales avec un multiplexage temporel des canaux radio, un cryptage des informations et un codage de la parole à débit réduit. La responsabilité du GSM a été transférée à l'ETSI "*European Telecommunication Standards Institute*" et l'acronyme GSM devint "*Global System for Mobile communications*", et désigne alors le réseau de téléphonie mobile de deuxième génération.

Début des années 90 :

La commercialisation du GSM a vu le jour au début des années 90, les réseaux se prolifèrent alors dans tous les continents du globe. Les normes spécifiées par le GSM sont adaptées à des systèmes fonctionnant avec des bandes de fréquences autres que la bande des 900 MHz. Le DCS1800 est une variante du GSM utilisant des fréquences pour l'émission et pour la réception autour de 1800MHz, il présente l'avantage d'offrir des bandes de fréquences beaucoup plus larges donc un nombre d'utilisateurs plus important.

II. ÉVOLUTION

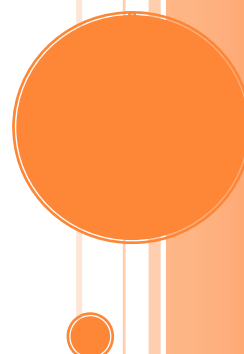
Aujourd'hui, le transport des données sur des périphériques mobiles est quelque peu anecdotique. En effet, la norme GSM, n'autorise qu'au mieux des débits de 9,6 [Kb/S]. Si ces débits permettent d'utiliser des services WAP (*Wireless Application Protocol*) basiques, peu gourmands en bande passante, il interdit toutes utilisations multimédia comme le streaming des fichiers audio.

Comme le réseau GSM ne convenait guère pour la transmission de données, les évolutions récentes ont visé à accroître la capacité des réseaux en termes de débit mais à élargir les fonctionnalités en permettant par exemple l'établissement de communications ne nécessitant pas l'établissement préalable d'un circuit.

Pour dépasser la borne des 14, 4 [kb/s], débit nominal d'un canal téléphonique basculé en mode de transmission de données, l'ETSI a défini un nouveau service de données en mode paquet : le *General Packet Radio Service* (GPRS) qui permet l'envoi de données à un débit de 115 [kb/s] par mise en commun de plusieurs canaux. D'une certaine manière, le GPRS prépare l'arrivée de la téléphonie de troisième génération, appelée *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS), qui permettra d'atteindre un débit de 2 [Mb/s]. Mais le chemin est long car les applications nécessitant l'UMTS se font attendre, sans perdre de vue que tous les éléments du réseau UMTS sont incompatibles avec ceux du GSM.

Chapitre II

INTRODUCTION GÉNÉRALE



INTRODUCTION GÉNÉRALE

I. CONCEPT CELLULAIRE

Un système de radiotéléphonie utilise une liaison radioélectrique entre le terminal portatif et le réseau téléphonique. La liaison radio entre le téléphone mobile et le réseau doit être de qualité suffisante, ce qui nécessite la mise en place d'un ensemble de stations de base (BTS) sur l'ensemble du territoire que l'on souhaite couvrir, de telle sorte que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles. Ce que l'on appelle une cellule, c'est la surface sur laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison avec une station de base déterminée. Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules desservies par un relais radioélectrique (la BTS) de faible puissance, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines. Ces cellules doivent être contiguës sur la surface couverte. Évidemment, le nombre de fréquences accordées au système GSM étant restreint, l'opérateur est obligé de réutiliser les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées de telle sorte que deux communications utilisant la même fréquence ne se brouillent pas. La distance séparant les cellules ainsi que la qualité de communication sont déterminés à partir du rapport de puissance de porteuse à bruit.

On modélise les cellules par des hexagones, étant donné que c'est la forme géométrique qui s'approche le plus d'un cercle, pouvant se raccorder entre eux. Mais la théorie est bien loin de la réalité surtout en zone urbaine où la topographie du terrain empêche une propagation linéaire.

La taille d'une cellule n'est pas la même sur tout le territoire, elle est en fonction de plusieurs paramètres tel le nombre d'utilisateurs potentiels dans sa zone, de la topologie du terrain et du relief, de sa localisation (rurale, suburbaine, urbaine) et de la nature des constructions (immeubles en béton, pavillons, maisons, etc.). On distingue alors trois types de cellules :

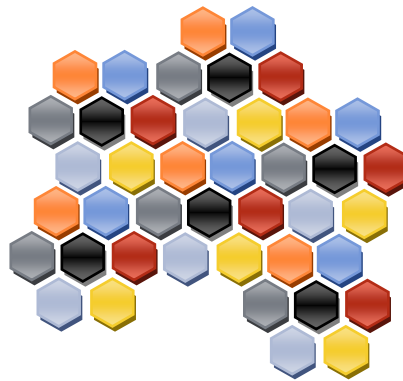
- Les macro-cellules
- Les microcellules
- Les Pico-cellules

Un motif est constitué de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois. Une même fréquence peut être réutilisée par une cellule si et seulement si elle est distante d'au moins deux cellule de celle qui utilise cette fréquence.



Figure 1 : Motif

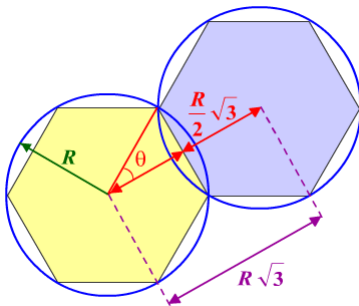
De la figure ci-dessous, les cellules portant la même couleur utilisent la même fréquence.



a. La distance de réutilisation

La distance de réutilisation est définie comme étant la distance séparant deux cellules sur lesquelles le même canal pourra être réutilisé.

La distance intersite est la distance séparant les centres de deux cellules voisines. Dont les paramètres sont :

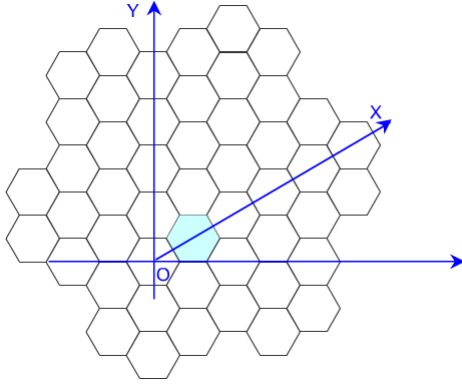


Rayon de la cellule : R

L'angle θ étant égal à 30° , la distance séparant le centre de la cellule et le bord de l'hexagone est : $\frac{R}{2}\sqrt{3}$

On retrouve alors la distance intersite, qui vaut $R\sqrt{3}$

Pour pouvoir déterminer la distance de réutilisation des cellules, on définit un système d'axes xOy lié au maillage hexagonal de la zone à couvrir.



Dans ce système, l'axe Ox et l'axe Oy sont perpendiculaires à deux côtés adjacents d'un hexagone centré sur le point O. Dans ce système de coordonnées, le centre de la cellule O représenté en bleu sur le schéma a pour abscisse x_1 et pour ordonnée y_1 .

On considère une cellule co-canal ayant pour abscisse x_2 et pour ordonnée y_2 . La distance verticale représentée en rouge sur le schéma peut être exprimée en fonction des ordonnées de la cellule co-canal et de la cellule considérée.

Cette nouvelle distance verticale s'exprime, elle, en fonction des abscisses de la cellule co-canal et de la cellule considérée.

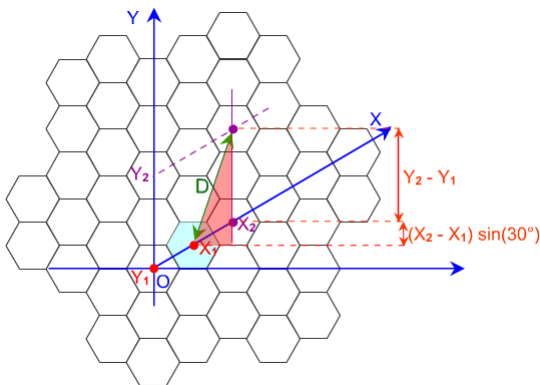
On définit la distance de réutilisation, notée D, comme étant la distance séparant deux cellules co-canal.

L'expression mathématique de la distance D est facile à trouver, puisque D constitue l'un des côtés d'un triangle rectangle dont les longueurs s'expriment en fonction de x_1 , x_2 , y_1 , y_2 .

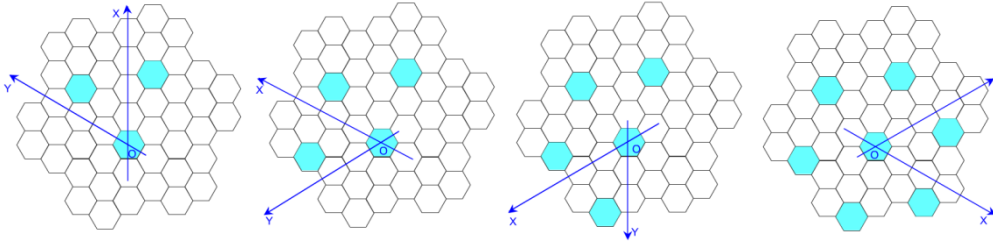
Donc l'expression mathématique de D est :

$$D^2 = ((y_2 - y_1) + (x_2 - x_1) \sin(30^\circ))^2 + (x_2 - x_1)^2 \cos^2 30^\circ$$

$$D = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)(y_2 - y_1)$$



La détermination de toutes les cellules co-canal situées autour d'une même cellule s'effectue en utilisant le même système d'axe que l'on fait tourner à un angle de 360° par pas de 60° . Au préalable, il est nécessaire de centrer le système d'axes sur la cellule considérée.



Une première cellule ayant été définie pour cette position du système d'axes, on fait tourner le système de 60°. Pour cette nouvelle position, on fait subir à la cellule co-canal un déplacement équivalent au cas précédent, à savoir un déplacement d'une cellule suivant l'axe Ox et un déplacement de deux cellules suivant l'axe Oy. Le même processus est ensuite répété pour définir l'ensemble des cellules co-canal qui vont se répartir sur un cercle de centre O.

Au final, ce sont donc six cellules co-canal qui seront déterminées dans le maillage hexagonal.

b. Facteur de réutilisation des fréquences

Le facteur de réutilisation des fréquences est noté K et défini par :

$$K = (i^2 + j^2 + ij) = \frac{D^2}{3R^2}$$

Pour un rayon de cellule donné, ce facteur est donc proportionnel au carré de la distance séparant deux cellules pouvant utiliser la même fréquence.

En effet, si on désigne respectivement par i et j le nombre de paires de cellules traversées sur les axes Ox et Oy, la distance de réutilisation D peut s'exprimer à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{aligned} D^2 &= (3R^2i^2 + 3R^2j^2 + 3R^2ij) \\ &= 3R^2(i^2 + j^2 + ij) \end{aligned}$$

Suivant les valeurs de i et j, toutes les valeurs entières de K ne peuvent pas être envisagées.

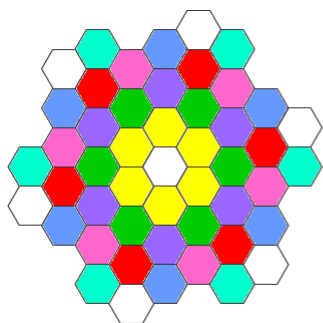
Lorsque K = 1, les cellules co-canal sont retrouvées en effectuant un déplacement d'une cellule suivant l'axe Ox et de 0 cellules suivant l'axe Oy. Dans ce cas particulier, les cellules co-canal sont les cellules voisines à la cellule considérée.

Lorsque K = 3, les cellules co-canal sont définies par un déplacement d'une cellule suivant l'axe Ox et d'une cellule suivant l'axe Oy.

Pour K = 4, on localise les cellules co-canal en effectuant un déplacement de deux cellules suivant l'axe Ox et de 0 cellules suivant l'axe Oy.

Le même principe sera répété pour les autres valeurs de K représentées sur le tableau et la figure.

La valeur de K = 12 est la plus utilisée dans la pratique.

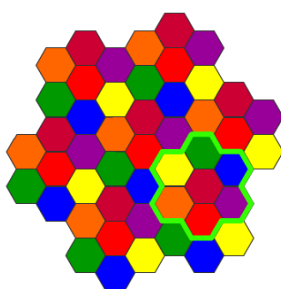
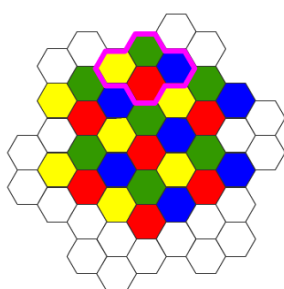


i	j	K
1	0	1
1	1	3
2	0	4
1	2	7
2	1	7
3	0	9
2	2	12
1	3	13
4	0	16
2	3	19
1	4	21

c. Taille et forme des motifs :

La taille et la forme des motifs sont déterminées à partir du facteur de réutilisation K.

Si on prend les exemples où K = 4, K = 7 et K = 12, on obtiendrait les motifs suivant :

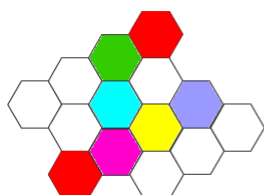


d. Évaluation du rapport C/I

- Rapport de réutilisation Q

On note Q le rapport de réutilisation co-canal. Q est le rapport entre la distance séparant deux cellules qui utilisent la même fréquence (ou le même groupe de fréquences) et le rayon d'une cellule. Ce rapport intervient dans la caractérisation de l'interférence co-canal que l'on va chercher à évaluer dans le cas pire et le plus simple de cellules omnidirectionnelles.

$$Q = \frac{D}{R} = \sqrt{3k}$$



K	Q=D/R
1	1,73
3	3
4	3,46
7	4,58
9	5,2
12	6
13	6,24
16	6,93
19	7,55
21	7,94

- Interférences dues à des cellules co-canal

Une fois la position des cellules co-canal définies par le choix d'un facteur K, il est ensuite nécessaire de calculer le rapport signal sur interférence noté C/I. La valeur de C dépend d'une puissance fixe P_0 , du rayon R de la cellule et d'un facteur d'atténuation γ dépendant de l'environnement dans lequel est située la cellule.

Les interférences sont dues à l'émission des stations situées dans les cellules co-canal en direction du mobile situé en bordure de cellule. En première approximation, si on suppose

que la distance parcourue est égale à la distance de réutilisation. L'interférence totale est égale à six fois P_0 multipliée par la distance D élevée à la puissance $-\gamma$.

$$I_{totale} = 6P_0 D^{-\gamma}$$

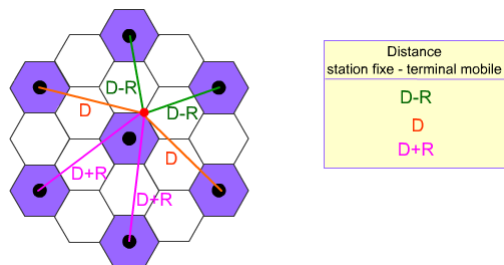
Avec cette approximation :

$$\frac{C}{I} = \frac{P_0 R^{-\gamma}}{6P_0 D^{-\gamma}} = \frac{1}{6} \left(\frac{R}{D} \right)^{-\gamma} = \frac{Q^\gamma}{6}$$

Ce rapport dépend du rapport de réutilisation co-canal Q et de l'exposant γ qui correspond au facteur d'atténuation du signal dans l'espace. La valeur de ce facteur est comprise entre 3 et 4 suivant le type d'environnement de la cellule.

- Évaluation précise de C/I dans le cas de cellules omnidirectionnelles

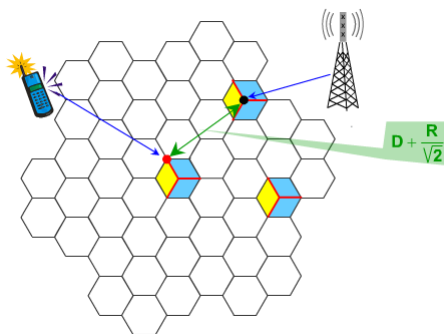
Pour de petites valeurs de K , il est possible de préciser l'expression de C/I .



Calculons le rapport C/I :

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{2} ((Q-1)^{-\gamma} + (Q+1)^{-\gamma} + Q^{-\gamma})^{-1}$$

- Évaluation du rapport C/I dans le cas des cellules trisectorielles



Dans le cas de cellules trisectorielles, les interférences co-canal ne sont dues qu'au rayonnement des antennes dont le lobe principal est orienté vers la station mobile considérée.

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{Q^{-\gamma} + \left(Q + \frac{1}{\sqrt{2}} \right)^{-\gamma}}$$

Remarque :

En faisant l'approximation $Q \gg 1$ ($D \gg R$) pour les deux formules de C/I , on aura :

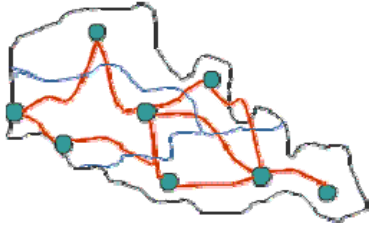
Pour la cellule omnidirectionnelle : $\frac{C}{I} = \frac{Q^\gamma}{6}$

Pour la cellule trisectorielle : $\frac{C}{I} = \frac{Q^\gamma}{2}$

Ce sont ces formules approximées qu'on utilisera dans le titre qui suit.

- *Exercice d'application*

Soit à réaliser la planification de fréquence sur la zone géographique suivante :



- On suppose que le facteur d'atténuation dans cette zone vaut $\gamma = 3.5$.
- En utilisant des formules approchées, déterminer la valeur minimale du facteur de réutilisation K permettant de garantir un rapport C/I de 15dB dans le cas de cellules omnidirectionnelles puis trisectorielles (on utilisera la formule définie dans le cas de sites trisectorisés).
- Répartir un ensemble de 20 fréquences sur des grilles hexagonales correspondant à chaque type de cellule.

Solution pour des cellules omnidirectionnelles

$$\frac{C}{I} = 10^{\frac{15}{10}} = 31.6$$

Le rapport de réutilisation vaut : $Q = (6 * 31.6)^{\frac{1}{3.5}} = 4.476$

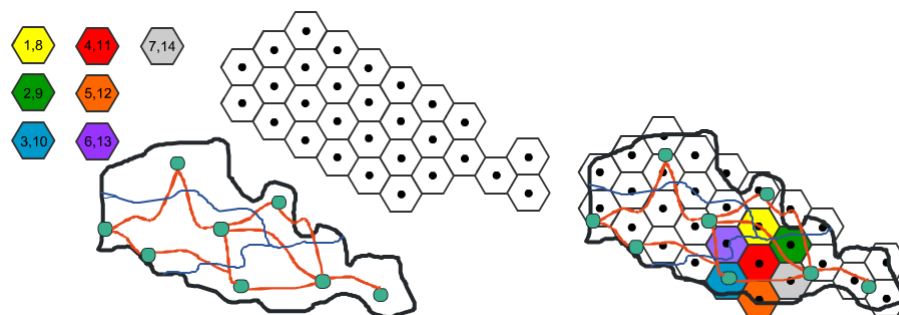
Par conséquent, la valeur minimale du facteur de réutilisation vaut $K = \frac{Q^2}{3} = 6.678$

La première valeur entière de K autorisée est la valeur $K = 7$. Avec cette valeur de K , on obtient ce tableau :

Allocation des fréquences	1	2	3	4	5	6	7
	8	9	10	11	12	13	14
	15	16	17	18	19	20	

Les fréquences sont couplées colonne par colonne, chaque couple sera utilisé par une cellule. Les fréquences restantes (de 15 à 20) sont appelées "fréquences joker" et pourraient être utilisées en cas de densification.

Le résultat du plan de fréquence sur notre modèle géographique est :



Il est important de remarquer que dans la pratique, on évite également d'attribuer des fréquences correspondant à des canaux adjacents sur des cellules voisines.

Solution pour des cellules trisectorielles

$$\frac{C}{I} = 10^{\frac{15}{10}} = 31.6$$

Le rapport de réutilisation vaut : $Q = (2 * 31.6)^{\frac{1}{3.5}} = 3.269$

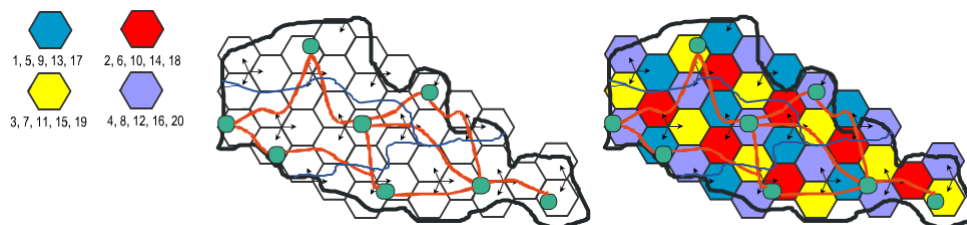
Par conséquent, la valeur minimale du facteur de réutilisation vaut $K = \frac{Q^2}{3} = 3.56$

La première valeur entière de K autorisée est la valeur K = 4. Avec cette valeur de K, on obtient ce tableau :

Allocation des fréquences	1	2	3	4
	5	6	7	8
	9	10	11	12
	13	14	15	16
	17	18	19	20

Les fréquences sont couplées colonne par colonne, chaque couple sera utilisé par une cellule. On remarque que dans ce cas, chaque cellule dispose d'un nombre plus élevé de fréquences, chacune pouvant donc écouler un trafic plus important.

Le résultat du plan de fréquence sur notre modèle géographique est :



Dans le cas de sites trisectoriels, il est préférable de choisir un facteur de réutilisation multiple de 3. On obtient dans ce cas des motifs notés 4/12 (4 sites, 12 cellules) ou 7/21 (7 sites, 21 cellules). Le choix d'un facteur de réutilisation plus élevé permet également d'assurer une meilleure garantie contre les risques d'interférences de canal adjacent. En pratique, on respectera par exemple un écart de 3 fréquences entre secteurs d'un même site et de 2 fréquences entre deux sites.

1. Concept de mobilité

Le handover (transfert automatique intercellulaire) est un mécanisme fondamental dans la communication cellulaire (GSM ou UMTS par exemple).

Le processus consiste à ce qu'un terminal mobile maintienne la communication en cours, lors d'un déplacement qui amène le mobile à changer de cellule. En effet lorsque le signal de transmission entre un combiné et une station de base s'affaiblit, le système du combiné trouve une autre station de base disponible dans une autre cellule, qui est capable d'assurer à nouveau la communication dans les meilleures conditions.

Ce mécanisme permet l'itinérance entre cellules ou opérateurs.

2. Nécessité d'un handover

Le transfert intercellulaire est nécessaire dans trois cas distincts :

❖ a. Rescue handover :

Dans ce cas, c'est la qualité de transmission qui détermine la nécessité du Handover, cette dernière est arborée par le niveau du signal reçu, le délai de propagation et par le taux d'erreurs.

❖ b. Confinement Handover :

Pour avoir la meilleure qualité du service possible, la station mobile écoute en permanence les autres cellules. Chaque MS est synchronisée avec plusieurs BTS pour être prêt en cas de handover. Afin de minimiser les interférences dues en partie aux autres MS dans la cellule le Confinement handover est enclenché

❖ c. Traffic Handover :

Le nombre de MS est trop important pour la cellule, et des cellules voisines peuvent accueillir de nouvelles MS. Cette décision nécessite de connaître la charge des autres BTS.

Dans les trois cas précédents, le handover est du ressort du MSC (*Mobile services Switching Center* ou *Mobile Switching Center*).

3. Types de handovers

L'attribution d'un nouveau canal à une station mobile nous permet d'énumérer quatre types de Handovers qui sont :

❖ a. Handover Intra-BSC (*Base Station Controller*) :

Le nouveau canal est attribué à la MS dans la même cellule ou une autre cellule gérée par le même BSC.

❖ b. Handover Intra-MSC :

Le nouveau canal est attribué à la MS mais dans une cellule gérée par un autre BSC, lui-même étant géré par le même MSC.

❖ c. Handover Inter-MSC :

Le nouveau canal est attribué dans une cellule qui est gérée par un autre MSC.

❖ d. Handover Inter-System :

Un nouveau canal est attribué dans un autre réseau mobile que celui qui est en charge de la MS (exemple entre un réseau GSM et un réseau UMTS).

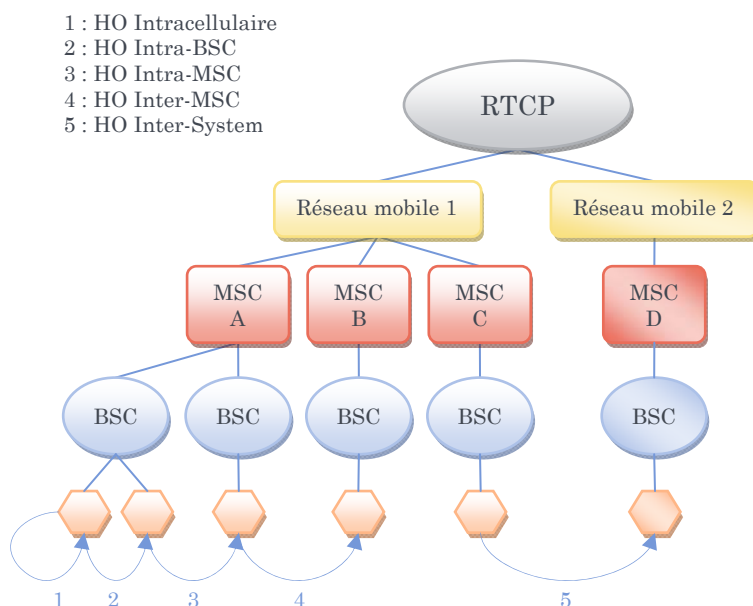
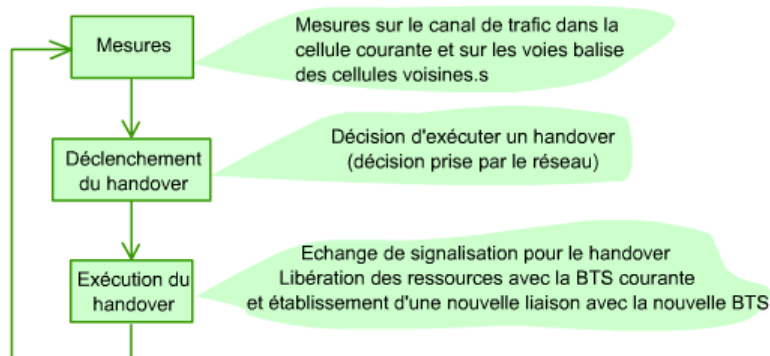


Figure 2 Différents types de Handover

4. Exécution d'un Handover

Le handover est une procédure qui permet de maintenir un lien radio aussi bon que possible pendant toute la communication.



Note : La procédure d'exécution du Handover sera reprise et détaillée après assimilation des concepts nécessaires (voir Chapitre Second).

5. Gestion de l'itinérance (*Roaming*)

L'itinérance est une des nouvelles fonctions offertes par les réseaux mobiles par rapport aux réseaux fixes classiques.

Elle Fournit à l'abonné la possibilité d'appeler et surtout d'être appelé en n'importe quel endroit du territoire couvert par le réseau.

⇒ Le système doit être capable de joindre un abonné à tout instant.

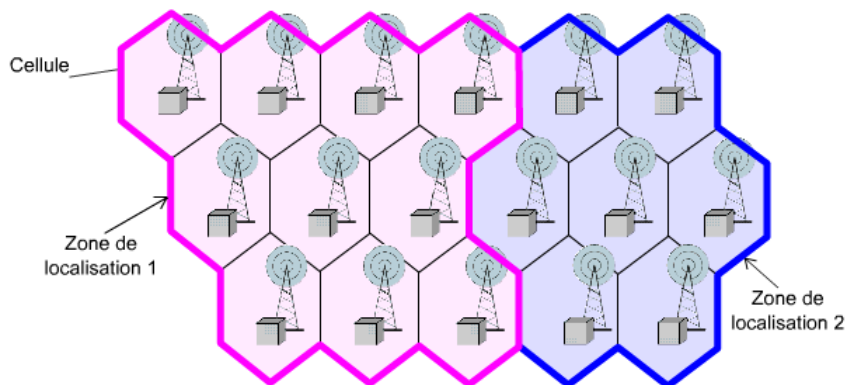
La gestion de l'itinérance est basée sur un découpage en zones de localisation et fait intervenir 2 mécanismes :

- La mise à jour de localisation qui consiste à se tenir régulièrement informé de la position d'un abonné.
- La recherche d'abonné (paging) qui consiste à émettre des messages d'avis de recherche dans le réseau.

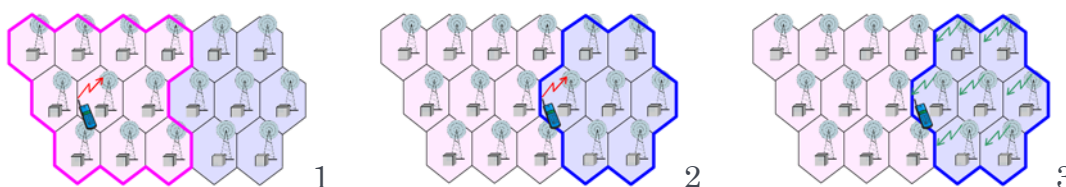
ZONES DE LOCALISATION

Définition et principe général

Une zone de localisation est définie comme le regroupement de plusieurs cellules (de quelques cellules à plusieurs dizaines de cellules).



Remarque : Les cellules sont gérées par le même VLR. Une zone de localisation ne peut pas regrouper des cellules qui dépendent de VLR différents. Un VLR peut gérer plusieurs zones de localisation.



1. Le réseau connaît la zone de localisation de chaque abonné mais ignore la cellule précise où il se trouve.

2. L'abonné mobile met à jour sa localisation périodiquement et sur changement de zone.

3. Lorsque l'abonné reçoit un appel, le réseau le cherche dans sa zone de localisation courante en émettant des messages de paging dans les différentes cellules.

Identité LAI (Location Area Identification)

Composition :

Indicatif du pays	Indicatif du PLMN (comme l'IMSI)	Code de la zone de localisation (LAC) <i>Librement choisi par l'opérateur</i>
-------------------	-------------------------------------	---

Cette identité est unique parmi les réseaux GSM dans le monde :

En cas de changement de réseau, un changement de zone de localisation est automatiquement détecté.

Remarque :

Chaque station mobile stocke la LAI de la zone de localisation courante.

Du côté réseau, seul le VLR mémorise la LAI courante de l'abonné mobile pour éviter les transferts de signalisation inutiles.

Le HLR mémorise l'identité du VLR courant de chaque abonné et non pas sa zone de localisation.

Mise à jour de localisation

Le réseau GSM combine plusieurs méthodes de mise à jour de localisation :

- ♦ une mise à jour sur changement de zone de localisation.
- ♦ une mise à jour périodique.
- ♦ une mise à jour à la mise sous tension du mobile.

⇒ Le réseau ne doit pas perdre la trace du mobile pour pouvoir lui acheminer les appels qui lui sont destinés.

- Mise à jour de localisation sur changement de zone

Chaque station de base diffuse périodiquement sur une voie balise l'identité LAI de la zone de localisation à laquelle elle appartient.

Le mobile en mode veille scrute régulièrement la voie balise et stocke en permanence la LAI courante dans la carte SIM.

Si le mobile détecte une différence entre la LAI courante et la LAI stockée, il signale son changement de position au réseau.

La LAI est mise à jour dans le VLR.

En cas de changement de VLR, les caractéristiques de l'abonné sont transférées de l'ancien VLR vers le nouveau VLR.

- *Mise à jour de localisation périodique*

Le mobile signale à intervalles de temps réguliers sa position (LAI de la zone où il se trouve) au réseau.

La période est imposée par le réseau et diffusée sur la voie balise.

Valeurs possibles : entre 6 minutes et 24 heures ou valeur infinie servant à annuler la procédure de mise à jour de localisation périodique.

Cette mise à jour permet de corriger les incohérences éventuelles des informations de localisation au sein du réseau, suite à des pannes de HLR, VLR ou de liaisons.

- *Mise à jour à la mise sous tension du mobile*

À la mise sous tension, le mobile signale sa position au réseau (procédure IMSI Attach).

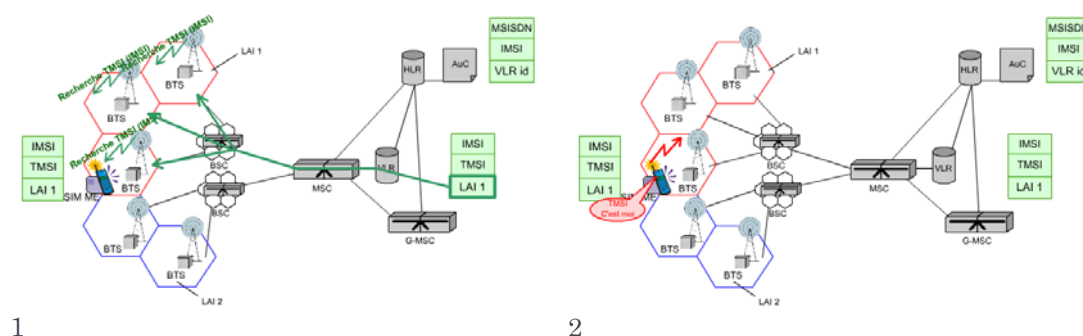
RECHERCHE D'ABONNÉ (PROCÉDURE DE PAGING)

1. Pour rechercher un abonné, le réseau émet des messages dans la zone de localisation de l'abonné.

Ces messages de paging précisent l'identité temporaire TMSI de l'abonné recherché.

En cas d'indisponibilité, ils utilisent l'IMSI.

2. Dans les deux cas, le mobile répond en utilisant la même identité (TMSI ou IMSI) que celle utilisée par le réseau.



Procédures IMSI Attach et IMSI Detach

L'objectif est d'éviter la consommation inutile des ressources radio par la recherche d'abonnés ayant mis leur mobile hors tension.

Ces procédures permettent au MSC/VLR de savoir si un mobile est joignable (sous tension) ou non (hors tension).

- *Procédure IMSI Detach*

Explicite : Après la mise hors tension du mobile par l'abonné, en fait le mobile reste encore quelques instants sous tension et envoie un message IMSI Detach au MSC/VLR pour indiquer que le mobile n'est plus joignable.

Cette procédure est optionnelle et pas forcément optimale si les utilisateurs éteignent tous leur mobile à la fin de la journée (génération importante de signalisation et trafic plus faible la nuit).

Implicite : Lorsque le VLR n'a pas eu de contacts avec un mobile depuis une certaine période (fixée par une temporisation), il prend l'initiative de mettre le mobile dans un état "non joignable".

- *Procédure IMSI Attach*

À la mise sous tension d'un mobile, cette procédure signale au MSC/VLR que le mobile est à nouveau joignable et effectue en même temps une mise à jour de localisation.

PROCÉDURES DE GESTION DE L'ITINÉRANCE

Deux cas de figure :

- ♦ Mise à jour de localisation intra-VLR :
La nouvelle zone de localisation est gérée par le même VLR que la zone de localisation quittée par le mobile.
- ♦ Mise à jour de localisation inter-VLR :
La nouvelle zone de localisation est gérée par un VLR différent.

Remarque :

Lors d'une demande de mise à jour de localisation, le mobile utilise le plus souvent l'identité temporaire TMSI.

Il peut aussi utiliser l'IMSI :

- ♦ lorsqu'il se "reconnecte" au réseau après une mise sous tension ;
- ♦ lorsque le TMSI n'est pas reconnu par le réseau suite à une panne du VLR (dans ce cas le VLR va demander au mobile de transmettre son IMSI).

Les procédures de mise à jour avec l'IMSI sont similaires à celles avec le TMSI.

II. PRÉSENTATION ET ARCHITECTURE DU RÉSEAU GSM

Le PLMN (*Public Land Mobile Network*) est Le réseau spécifique pour le GSM (*Global System for Mobile communication*), Chaque opérateur ayant le sien propre.

L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en quatre parties principales :

- La station mobile (MS – *Mobile Station*)
- Le sous-système radio (BSS – *Base Station Sub-system*)
- Le sous-système réseau (NSS – *Network and Switching Sub-System*)
- Le sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS – *Operation Support Sub-System*)

Ces différents sous-systèmes sont référencés sur la figure ci dessous :

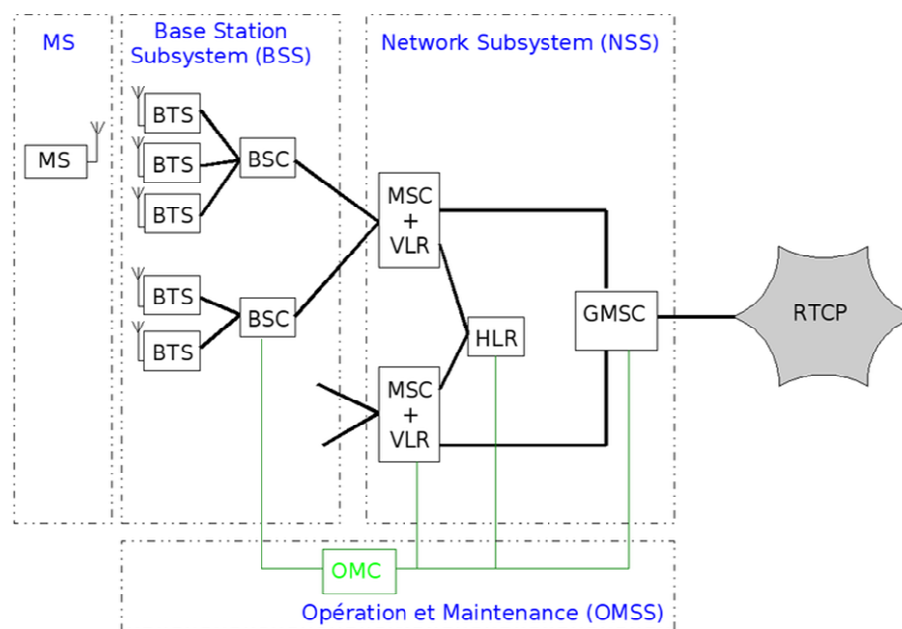


Figure 3 : Architecture du réseau GSM

1. La station mobile

La station mobile est composée d'un terminal et d'une carte SIM (*Subscriber Identity Module*), ces deux modules sont les seuls auxquels l'utilisateur a directement accès.

1.1. Le terminal

Chaque terminal est identifié par un code unique IMEI (*International Mobile Subscriber Identity*), ce code permet non seulement de déterminer le constructeur de l'équipement mais aussi et surtout la détection et l'interdiction de terminaux volés.

Différents types de terminaux sont prescrits par la norme GSM suivant leurs applications (fixé dans une voiture, portable).

La norme définit pour les terminaux plusieurs classes suivant leur puissance maximale d'émission (de 0,8W à 2 w). Pour la norme GSM 900, la majorité des terminaux vendus sont des portatifs dit de classe 4 d'une puissance de 2 w.

Un terminal ne peut fonctionner que s'il est muni d'une carte SIM.

CLASSEMENT DES TERMINAUX SUIVANT LEUR PUISSANCE MAX D'ÉMISSION

La norme GSM définit plusieurs classes pour les terminaux suivant leur puissance maximale d'émission. En GSM-900, la Classe 1 initialement définie dans la norme a été supprimée. En effet, une puissance de 20W n'est plus autorisée aujourd'hui.

Numéro de classe	GSM 900	DCS 1800
1	20W / 43dBm	1W / 30dBm
2	8W / 39dBm	0.25W / 24dBm
3	5W / 37dBm	4W / 36dBm
4	2W / 33dBm	
5	0.8W / 29dBm	

Les terminaux fixes pour véhicules, qui utilisent la batterie comme source d'énergie, sont en majorité de Classe 2, ils peuvent émettre jusqu'à 8W.

Les terminaux portatifs, complètement autonomes d'un point de vue énergétique, et qui constituent la grande majorité des terminaux vendus, sont de Classe 4 et présentent une puissance d'émission maximale de 2W.

En DCS-1800, les terminaux sont en général de Classe 1, donc d'une puissance d'émission de 1W.

CONTRÔLE DE PUISSANCE

La puissance d'émission peut être réduite sur demande du réseau par pas de 2dB jusqu'à un niveau minimal.

	GSM 900	DCS-1800
Niveau minimal d'émission	3 mW / 5 dBm	1 mW / 0 dBm

RELATION ENTRE PUISSANCE ET PORTÉE

Il s'agit seulement d'un ordre de grandeur : la portée est variable suivant l'environnement (plus faible en milieu urbain).

GSM 900	8 W	2 W
Portée	Plusieurs dizaines de kilomètres	Quelques kilomètres

SENSIBILITÉ

	GSM 900		DCS-1800
	Autres terminaux	Terminaux portatifs	
Sensibilité minimale	-104 dBm / 40 pW	-102 dBm / 63 pW	-100 dBm / 100 pW

Remarque : La tolérance des terminaux dans la norme GSM-900 et DCS-1800 est de ± 2 dB pour chaque classe.

1.2. La carte SIM

La carte SIM est une carte à puce à microprocesseur, qui s'incère dans un terminal dont l'identification s'effectue exclusivement par celle-ci.

La principale fonction de la carte SIM est de contenir et de gérer un certain nombre d'informations, elle se comporte donc comme une mini base de données.

On peut résumer ces informations dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Commentaires
Données administratives	
PIN / PIN2	Mot de passes demandé à chaque connexion
PUK / PUK2	Code pour débloquer une carte
Langue	Langue choisie par l'utilisateur
Données liées à la sécurité	
La clé K_i	Valeur unique, connue par la SIM et le HLR
CKSN	Séquence de chiffrement
Données relatives à l'utilisateur	
IMSI	Numéro international de l'abonné
MSISDN	Numéro d'appel d'un téléphone GSM
Données de roaming	
TMSI	Numéro attribué temporairement par le réseau à un abonné
Location updating status	Indique si une mise à jour de la localisation est nécessaire
Données relatives au réseau	
Mobile Country Code (MCC)	Identifiant du pays de l'abonné
Mobile Network Code (MNC)	Identifiant du réseau de l'abonné
Numéros de fréquences absolus	Fréquence utilisées par le PLMN

Figure 4 : Informations d'une SIM

Remarque : on détaillera ces informations plus loin (sécurité GSM).

2. Le sous-système radio (BSS – *Base Station Sub-system*)

Le sous-système radio (BSS) est l'ensemble des éléments du réseau qui assurent la gestion des ressources radio et le transfert des communications entre le mobile et le sous-système réseau sur l'interface Um dite aussi interface air ou tout simplement interface radio. Deux entités principales forment le BSS ; la station de base (BTS) et le contrôleur de station de base (BSC).

2.1. La Station de Base (*Base Transceiver Station* – BTS)

Une BTS est le point d'entrée dans un réseau mobile, elle est associée à une cellule dont elle occupe le centre. La dimension d'une BTS est suivant la cellule qu'elle emploie et aussi suivant l'application qu'il lui est destiné, pour cela on distingue plusieurs types de BTS :

a. *BTS rayonnante* :

Elles sont idéales pour couvrir les sites où la densité d'abonnés est faible. Elles sont situées sur des points stratégiques (sommets, pylônes...). Ces stations émettent dans toutes les directions : ce sont les stations les plus visibles. Elles couvrent des macro-cellules. On en trouve en abondance au bord des autoroutes. Ces BTS ne peuvent pas être utilisées dans les zones de forte densité car elles émettent et occupent la bande passante du réseau sur une grande distance (jusqu'à 20 kms).

b. *BTS ciblée* :

Elles sont le plus souvent placées dans des zones à plus forte densité d'abonnés que les BTS rayonnantes. On les retrouve en ville par exemple. Elles sont de forme relativement allongée et permettent d'émettre suivant un angle très précis : on peut grâce à cela réutiliser facilement le même canal dans une autre cellule à proximité.



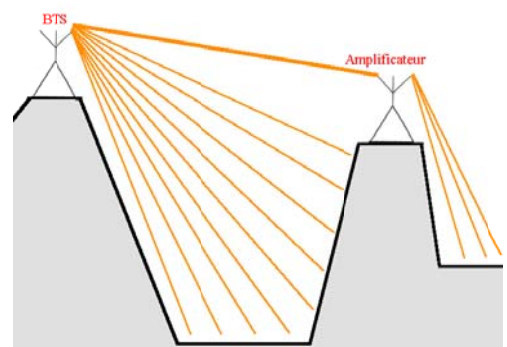
c. *Micro BTS* :

Elles couvrent des zones très restreintes et sont très utilisées dans les sites où la densité d'abonnés est importante : ce sont les microcellules. Leur grande discrétion permet de les installer dans les périmètres autour des centres villes. Une bonne étude d'implantation permet avec ce type de BTS de créer une couverture à deux niveaux : sur un premier niveau, les micro-BTS couvrent les 3 premiers mètres grâce à des émetteurs très ciblés. Un second niveau (étage plus élevé des immeubles) sera couvert par des BTS ciblées.



d. *Amplificateur de signal* :

Ce ne sont pas des BTS proprement dites mais ils permettent de couvrir une autre cellule comme le ferait une véritable BTS. Les amplificateurs de signal captent le signal émis par les BTS, l'amplifient et le réémettent d'un autre site. Ils permettent de couvrir une



cellule à moindre coût. De plus, ces amplificateurs ne nécessitent aucune connexion vers les BSC, ils peuvent donc être placés sans contraintes physiques (sommet isolé de tous réseaux électriques et télécoms). Idéals pour couvrir les zones à faible densité ou à relief difficile, ils sont néanmoins très gourmands en ressource réseau, car la BTS mère doit gérer tout le trafic des réémetteurs.

Afin qu'une BTS réalise ses fonctions essentielles, dont on cite : la transmission radioélectrique, le cryptage des communications, codage et décodage des canaux radio et mesure de la qualité de puissance pour vérifier si la communication se déroule correctement ; la BTS regroupe un ensemble d'équipements radioélectriques (antenne, émetteurs / récepteurs).

ARCHITECTURE D'UNE BTS

Antenne : Elle peut être sectorielle ou omnidirectionnelle.

L'unité de couplage : Elle combine les signaux émis par les différents émetteurs vers une antenne et les répartit sur ses différents récepteurs.

Émetteur / récepteur : L'émetteur assure la modulation et l'amplification de puissance alors que le récepteur réalise la démodulation, la conversion analogique / numérique, ainsi que la mesure de puissance du signal reçu.

Unité porteuse : Elle génère les porteuses.

Matrice de saut de fréquence : Assure la commutation entre les unités de trames et les unités de porteuses.

Module de synchronisation : Assure la synchronisation des unités de trames avec les unités de porteuses.

Unité de trame : Elle comporte toutes les fonctions nécessaires au traitement numérique des données reçues et émises.

Équipement de transmission : Il gère l'interface avec la BSC.

2.2. Contrôleur de station de base (*Base Station Controller* – BSC)

Le BSC est l'élément intelligent du sous-système radio. En plus d'assurer les changements de cellules (handover), le BSC décide de l'activation/désactivation d'un canal vers une station mobile, ainsi que de la puissance d'émission des BTS et des MS.

Pour effectuer le contrôle de puissance et les changements de cellule, le BSC collecte et analyse les mesures de performance et de qualité envoyées par les BTS et les MS.

Les BTS sont reliés au BSC par des liaisons MIC à 2 Mbit/s.

Un autre rôle primordial du BSC est de concentrer les flux de données en provenance des BTS. Mis à part en milieu urbain dense, une BTS est rarement

surchargée en permanence, l'Abis est donc peu saturé. En concentrant ensemble les *Abis* sur un nombre plus réduit de *liens A* en direction du MSC, cela permet une meilleure utilisation des ressources.

3. Sous-système réseau (*Network Sub-System – NSS*)

Le NSS est donc un sous-système du réseau GSM, il se compose de plusieurs entités (MSC, HLR, VLR, AuC et du EIR) ; ces modules lui permettent de remplir ses principales fonctions qu'on peut résumer en ce qui suit :

- ♦ Assurer la commutation et le routage.
- ♦ Permettre l'accès du réseau GSM au réseau public (RTCP) et le RNIS.
- ♦ Gérer la fonction de la mobilité, de la sécurité et de la confidentialité.

3.1. Le centre de commutation mobile (*Mobile Switching Center – MSC*)

Considéré comme étant le cœur du réseau, le MSC est le point de contact entre le sous-système réseau, dont il fait parti, et le sous-système radio. Grace aux trois types de bases de données (deux Registres de localisation et un Centre d'authentification), le MSC assure la fonction de commutation reliant les abonnés mobile entre eux où a ceux des réseaux fixe car elles lui permettent la vérification des caractéristiques des abonnés visiteurs lors d'un appel départ et transfert les informations de localisation. Trois types d'appels peuvent être répertoriés :

- Entre deux mobiles :
Dans ce cas, le MSC établit une liaison avec un autre MSC
- Entre un abonné mobile et le réseau fixe RTCP, ce dernier se découpe à son tour en deux scénarios :
 1. Un abonné du réseau GSM compose le numéro de téléphone d'un abonné du réseau fixe.
 2. Un abonné du réseau fixe compose le numéro de téléphone d'un abonné du réseau GSM

3.2. Enregistreur de localisation nominale (*Home Location Register – HLR*)

Le HLR est la base de données qui contient et gère les abonnements. Il contient un certain nombre de données statiques : les informations relatives aux abonnés, telles que leur identité, leur numéro d'appel, les services auxquels ils ont droit, etc. En outre, le HLR mémorise les données relatives aux abonnés mobiles (données dynamiques) : il stocke et réactualise en permanence toute information relative à la position géographique des abonnés qui lui sont rattachés. Il peut ainsi fournir aux MSC des informations sur la zone de localisation du mobile itinérant, de sorte que tout appel entrant peut être acheminé immédiatement jusqu'à l'abonné demandé. Le HLR est donc un nœud central du système et une porte d'accès pour les futurs services qui seront implantés dans les réseaux.

3.3. Enregistreur de localisation des visiteurs (*Visitor Location Register – 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 communique 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 ; pour ainsi dire les données suivent l'abonné.

3.4. Centre d'authentification (*Authentication Center – AuC*)

En général, le centre d'authentification est relié à chaque HLR de sa zone. L'AuC mémorise pour chaque abonné une clé secrète (Ki) utilisée pour authentifier les demandes de service et pour chiffrer les communications.

3.5. Enregistreur des identités des équipements (*Equipment Identity Register – EIR*)

L'EIR peut être intégré à l'AuC ou implanté séparément. Cette base de données contient les informations relatives aux équipements mobiles (terminaux) et a pour but d'empêcher l'utilisation frauduleuse d'appareils mobiles non reconnus par le réseau. Chaque mobile possède son propre numéro d'identification, que l'on désigne par identité internationale d'équipement de station mobile (IMEI), et dont la validité peut être vérifiée dans des listes de stations mobiles autorisées par le réseau. Si l'appareil identifié n'y figure pas, ou si l'EIR constate qu'il a été volé, qu'il n'est pas agréé ou comporte un défaut qui pourrait gêner le réseau, le mobile se verra refuser l'accès

4. Sous-système d'exploitation et de maintenance (*Operation Support Sub-system – OSS*)

Le rôle premier du sous système d'exploitation et de maintenance est l'administration du réseau ainsi que la gestion de la sécurité.

A. Les régions géographiques d'un réseau GSM

Pour assurer les services que le réseau GSM promet, notamment le service du transport de la voix pallié des problèmes de mobilité, une structure bien édifiée a été mise en place.

Comme on l'a vu précédemment, dans le concept cellulaire, l'élément de base d'une région d'un réseau GSM est la cellule. **La cellule** est définie comme étant la zone de couverture d'une station de base BTS identifiée dans le réseau au moyen d'un numéro d'identification globale de cellule (CGI : *Cell Global Identity*).

Pour localiser un abonné mobile appelé, une **zone de localisation** (*Location Area – LA*) est prévue. Cette dernière contient plusieurs cellules contrôlées par une ou plusieurs stations de bases (BSC), mais appartient à une seule MSC.

Un groupe de LA contrôlées par une seule MSC, est appelé **Zone de service MSC/VLR**, elle est essentiellement prévue pour acheminer un appel vers un terminal, en effet le réseau doit connecter la communication au MSC de la zone de service MSC/VLR où le terminal est localisé.

Une zone géographique où un abonné peut accéder au réseau GSM, a été pensée, c'est la **Zone de service GSM**, c'est grâce à elle qu'un abonné peut se connecter au réseau auquel il appartient en passant par une zone **PLMN** d'un autre opérateur.

La figure ci-dessous résume bien cette hiérarchie :

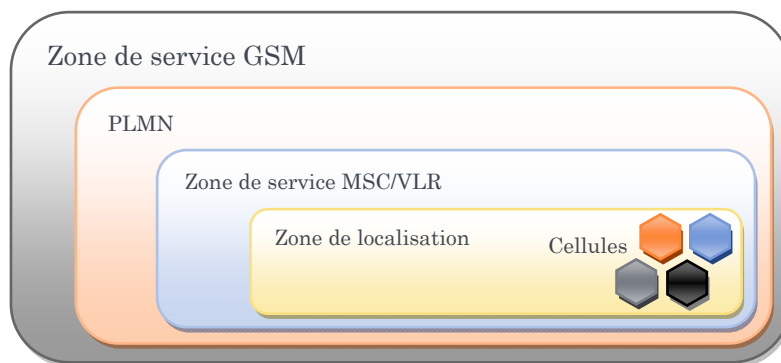


Figure 5 : Les différentes zones du réseau GSM

B. Les interfaces du réseau GSM

Les transferts de données entre les différents éléments du réseau sont assurés par des liaisons MIC (Modulation par Impulsion Codées) à 2Mbps. Selon la distance qui sépare les éléments, le lien peut être soit physique, soit par ondes radioélectriques.

- a) Lorsque deux éléments du réseau sont proches l'un de l'autre, les transmissions sont assurées par des liens physiques utilisant des paires de cuivre, des câbles coaxiaux, ou de la fibre optique. C'est le cas généralement des liaisons entre BSC-MSC-VLR-HLR qui se trouvent dans des centres communs.

- b) Les liaisons par des ondes radio sont utilisées pour les transmissions entre BTS et BSC. Des ondes radioélectriques sont émises par des antennes paraboliques ultra directionnelles (antennes FH) pointées exactement l'une vers l'autre, sans obstacle intercalé. Une liaison peut être composée de plusieurs combinaisons sur la distance séparant les deux éléments.

Voici une figure qui met en avant les interfaces qui permettent l'interconnexion entre les différentes entités du GSM :

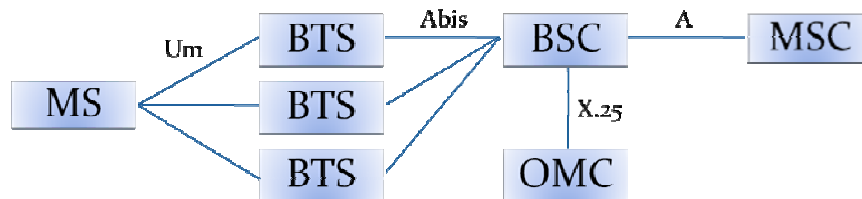


Figure 6 : Les interfaces du réseau GSM

❖ 1. L'interface Um

Appelée aussi Air ou radio, entre BTS et MS s'appuie sur le protocole LAPDm (Link Access Protocol on the D mobile channel). Il est utilisé pour le transport du trafic et des données de signalisation. Le téléphone portable et le sous système radio communiquent par l'intermédiaire de l'interface Um, qui est une liaison radio.

❖ 2. L'interface Abis

La couche physique est définie par une liaison MIC à 2 Mbits/s.

La couche liaison de données est le protocole LAPD.

Dans une station de base, sur l'interface radio, un canal de phonie possède un débit de 13 kbits, mais le débit d'un canal d'une liaison MIC est de 64 Kbits/s. Pour régler cette différence de débits, deux options sont possibles sur l'interface Abis :

- multiplexer quatre canaux de phonies dans un canal MIC, pour produire un canal à 64 [kb/s]
- transcoder les canaux de phonie à 64 kbits,

Des transcodeurs de parole adaptent le format de codage bas débit du GSM (13 Kbits/s) utilisé sur les canaux radio à celui du réseau filaire (64 Kbits/s). Ils sont généralement installés entre le BSC et le sous système réseau. Pour exploiter de façon optimale les possibilités offertes par le codage bas débit de la parole du GSM, les transcodeurs sont le plus souvent placés sur les sites de commutation, mais ils peuvent l'être sur les sites du BSC.

❖ 3. L'interface A

La couche physique est définie par une liaison MIC à 2 Mbits/s

La couche liaison de données est le protocole CCITT n°7.

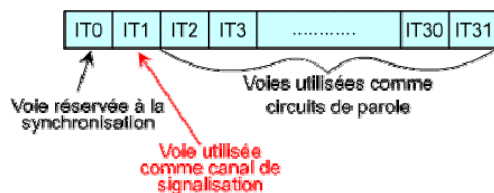
Les besoins de couverture radio imposent de prévoir différents types de configurations du sous système radio, qui s'adaptent à toutes les régions, à tous les reliefs, aux zones rurales à faible densité de trafic et aux zones urbaines à forte densité.

❖ 4. L'interface X.25

L'interface X.25 relie le contrôleur de la station de base avec le centre d'exploitation et de maintenance, elle possède la structure en 7 couches du modèle OSI.

SUPPORT DE TRANSMISSION PHYSIQUE

Les deux réseaux (réseau sémaphore et réseau de transmission) utilisent les mêmes supports de transmission qui sont des liaisons MIC.



La gestion de la signalisation et des communications se fait comme si les deux liaisons étaient physiquement indépendantes.

C. Pile de protocole du réseau GSM

Un protocole vise à établir des règles de signalisation de part et d'autre d'une interface, c'est pour ainsi dire des règles d'échanges entre différents modules.

Le domaine de la télécommunication, pour son bon fonctionnement, a adopté l'architecture OSI.

Le réseau GSM est structuré en couches. Cette structuration respecte la philosophie générale des couches du modèle de référence OSI (*Open System Interconnection*) spécifié par l'ISO, elle présente aussi quelques spécificités par rapport à un réseau de télécommunications classique du fait de la mobilité.

Le réseau GSM réutilise un certain nombre de protocoles existants, développés pour le réseau fixe numérique (RNIS). C'est un choix des concepteurs du GSM dans le but de réduire les coûts de développement.

Au sein du sous-système réseau (NSS), les protocoles sont basés sur les protocoles du réseau de signalisation sémaphore n°7 (SS7) utilisés dans le RNIS et on retrouve les 3 couches basses de l'OSI ainsi que la couche 7.

Dans le BSS, les 3 couches basses du modèle OSI sont présentes.

DÉCOUPAGE DES FONCTIONNALITÉS RÉSEAU EN 7 COUCHES :

Principe de la structure en couches

Chaque couche remplit des fonctions bien définies et limitées. Une couche de niveau n offre des services à la couche de niveau supérieur $n+1$. Une couche de niveau n utilise les services de la couche de niveau inférieur $n-1$ pour fournir son service.

Le modèle de référence OSI (modèle en 7 couches)

Couche application (<i>application layer</i>)
Couche présentation (<i>presentation layer</i>)
Couche session (<i>session layer</i>)
Couche transport (<i>transport layer</i>)
Couche réseau (<i>network layer</i>)
Couche liaison de données (<i>data-link layer</i>)
Couche physique (<i>physical layer</i>)

Couche 1, Physique : Définit les fonctions et procédures nécessaires pour le transport des informations sur le support physique (codage, modulation...).

Couche 2, Liaison de données : Contient les fonctions qui permettent de fiabiliser la transmission entre 2 éléments du réseau directement connectés entre eux (mécanisme ARQ : détection d'erreur et réémission si nécessaire).

Couche 3, Réseau : Assure l'acheminement ou le routage des informations à travers un ou plusieurs réseaux via des nœuds intermédiaires.

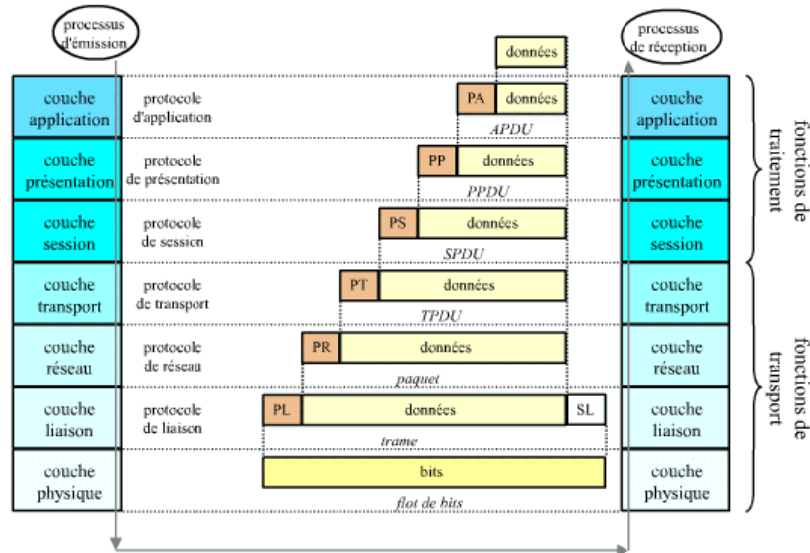
Couche 4, Transport : Assure la fiabilité et l'efficacité de la connexion de bout en bout (contrôle de flux, détection d'erreur, reprise sur erreur...).

Couche 5, Session : Fournit les moyens nécessaires aux utilisateurs les moyens d'établir des connexions appelées session et de transférer des données. Elle s'occupe surtout de la synchronisation et du séquençement des échanges.

Couche 6, Présentation : Définit la présentation des données en fonction d'une syntaxe et d'un vocabulaire commun entre l'émetteur et le récepteur (ex : codage ASCII, compression, chiffrement...).

Couche 7, Application : Contient des processus et des règles nécessaires aux application et programmes de l'utilisateur (protocoles de transfert de fichiers, de traitement des messages...)

Principe d'encapsulation des messages



La figure qui suit montre les différents protocoles des sous-systèmes du réseau GSM :

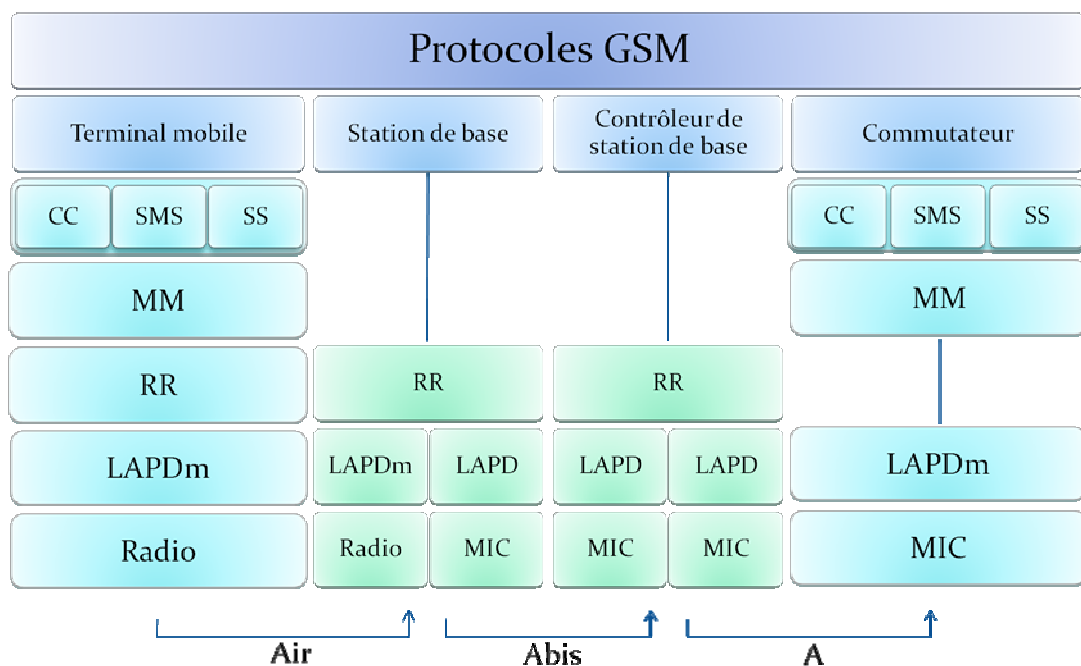


Figure 7 : Piles de protocoles de différents sous-systèmes du réseau GSM

❖ Le protocole Call Control (CC) :

Traite la gestion des connexions de circuits, il prend donc en charge les appels tels que l'établissement, la supervision et la terminaison.

❖ Le protocole Short Message Service (SMS) :

Assure la transmission et la réception de messages courts, la longueur d'un SMS est de 160 caractères de 7 bits.

❖ Le protocole Supplementary Services (SS) :

Gère les services supplémentaires.

Ces trois protocoles s'appliquent dans la sous-couche Connections Management (CM) de la couche réseau, et ils ne sont implémentés que dans les terminaux mobiles et les commutateurs ; leurs messages voyagent de façon transparente à travers le BSC et le BTS.

❖ Le protocole Mobility Management (MM)

Prend en charge tous les paramètres de l'itinérance à savoir la localisation, l'authentification et l'allocation du TMSI. 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.

❖ Le protocole Radio Ressource management (RR) :

Ce protocole est singulièrement présent dans la station mobile et le contrôleur de station de base. Au niveau du mobile, il sélectionne les cellules et surveille la voie balise. Les messages entre SM et BSC transitent par la BTS sans que cette dernière les interprète.

❖ Le protocole Link Access Protocol for the D channel

Définit les procédures de transfert de l'information afin d'assurer une transmission fiable entre la BTS et le BSC :

- délimitation des trames de longueur variable par fanion ;
- utilisation d'un code correcteur d'erreur ;
- correction par retransmission automatique des trames mal reçues (mécanisme ARQ).

❖ Le protocole LAPDm

Le protocole LAPDm est basé sur le protocole LAPD. Il reprend les principaux éléments du LAPD pour assurer une transmission fiable entre la MS et la BTS :

- code correcteur d'erreur ;
- retransmission automatique des trames mal reçues.

Contrairement au LAPD, les trames LAPDm sont de longueur fixe.

Protocole MAP (Mobile Application Part)

Le protocole MAP est spécifique au réseau GSM, il est spécialisé dans la gestion de la mobilité. Il offre toutes les fonctions de signalisation qui permettent à un mobile d'être itinérant. Les procédures concernées par le MAP sont les suivantes :

- ♦ Authentification d'un abonné
- ♦ Mise à jour de localisation d'un mobile
- ♦ Recherche d'un mobile appelé
- ♦ Handover entre 2 MSC

D. Synthèse sur le réseau GSM et DCS-1800

	GSM	DCS-1800
Bande de fréquences ↑	890, 2 - 915 [MHz]	1710 - 1785 [MHz]
Bande de fréquences ↓	935, 2 - 960 [MHz]	1805 - 1880 [MHz]
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Débit total par canal	271 [kb/s]	271 [kb/s]
Débit de la parole	13 [kb/s]	13 [kb/s]
Débit maximal de données	12 [kb/s]	12 [kb/s]
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Rayon de cellules	0, 3 à 30 [km]	0, 1 à 4 [km]
Puissance des terminaux	2 à 8 [W]	0, 25 et 1 [W]
Sensibilité des terminaux	-102 [dB]	
Sensibilité de la station de base	-104 [dB]	

En Algérie, il y'a trois opérateurs GSM qui se partagent la bande de fréquence qui sont :

- **Mobilis**, le plus ancien des trois. Filiale de l'opérateur historique Algérie Télécom ;
- **Djezzy**, détenu par l'égyptien Orascom ;
- **Nedjma**, détenu par le groupe Watanyia.

E. Services du réseau GSM

Le réseau GSM permet plusieurs services :

- la voix ;
- les données (le WAP, le Fax ou bien comme un modem filaire classique) ;
- les messages écrits courts ou SMS ainsi que leur successeur, le MMS (*Multimédia Messaging Service*) ;
- le Cell Broadcast (diffusion dans les cellules), qui permet d'envoyer le même SMS à tous les abonnés à l'intérieur d'une zone géographique ;
- les services supplémentaires (renvois d'appels, présentation du numéro, etc.) ;
- les services à valeur ajoutée comme par exemple les services de localisation (*Location Based Services*), d'informations à la demande (météo, horoscope), de banque (consultation de compte, recharges de comptes prépayés).

Chapitre III

DIFFÉRENTS TYPES DE MULTIPLEXAGE DANS LE GSM



DIFFÉRENTS TYPES DE MULTIPLEXAGE DANS LE GSM

I. INTRODUCTION

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences de 25 Mhz chacune, aux alentours des 900 [MHz] :

1. la bande de fréquence 890 - 915 [MHz] pour les communications montantes c'est-à-dire du mobile vers la station de base) et
2. la bande de fréquence 935 - 960 [MHz] pour les communications descendantes c'est-à-dire de la station de base vers le mobile.

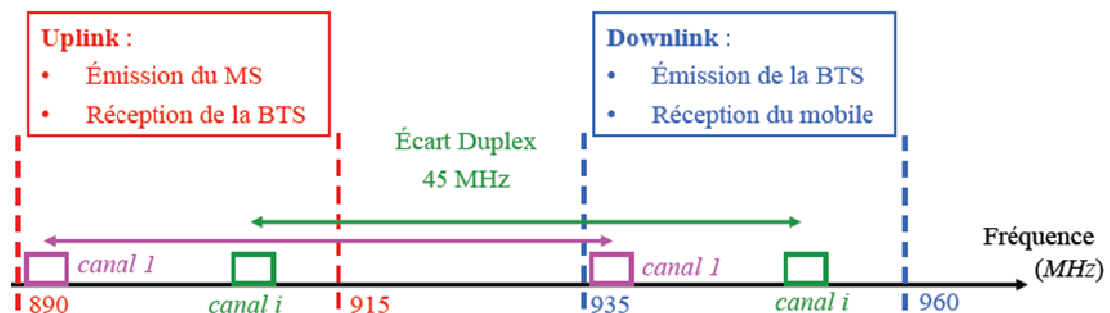
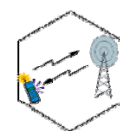


Figure 1 : Bande de fréquence du GSM 900

Premier choix architectural : Découpage de la bande allouée.

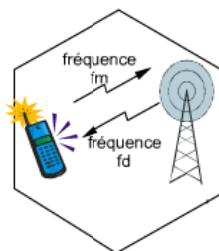
Technique de duplexage, partage de la ressource radio entre réception : dans le cas du GSM (séparation entre les voies et descendantes).



émission et montantes

- ♦ Duplexage en fréquence (FDD – Frequency Division Duplex)

Séparation de la bande totale allouée au système en deux sous-bandes d'égale importance (séparées par un intervalle fréquentiel non utilisé par le système).

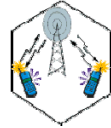


Ecart duplex :
 $f_m - f_d = 45 \text{ MHz en GSM}$

- Technique qui facilite la séparation de voies (simple filtrage).
- Technique bien adaptée à la transmission de la parole (même trafic sur les voies montantes et descendantes).

Remarque : duplexage en temps dans les réseaux orientés multimédia (UMTS, WLAN) pour pouvoir s'adapter aux inégalités de trafic sur les 2 voies.

Stratégie d'accès multiple (multiplexage), partage de la ressource radio entre les différents utilisateurs (stations mobiles présentes sur une même cellule).



Les types de multiplexage

Au niveau de l'interface Um, le GSM met en œuvre deux techniques de multiplexage qui sont :

1. Multiplexage fréquentiel (FDMA)

La technique de multiplexage FDMA induit une architecture à bande étroite, qui consiste à partager la bande disponible en un maximum de canaux. Dans la norme GSM900, il est défini que chaque porteuse de cellule (canal) possède une densité spectrale confinée dans une bande de 200 [kHz] (largeur d'un canal) ce qui signifie que, théoriquement, on peut disposer de 124 canaux (à répartir entre les différents opérateurs d'un même pays).

Chaque porteuse GSM (ou DCS) est identifiée d'une manière unique par un numéro n , désigné par ARFCN (*Absolute Radio Frequency Channel Number*), codé sur 10 bits conformément au plan suivant où la fréquence de la voie descendante est exprimée en [MHz].

Numérotation des fréquences

Chaque porteuse est identifiée de manière unique par un nombre entier n :

- 124 porteuses GSM : $n = 1 \dots 124$

Fréquences correspondantes en voie montante :

$$f_m(n) = 890 + (n \times 0.2)$$

Fréquences correspondantes en voie descendante :

$$f_d(n) = f_m(n) + 45 \text{ MHz}$$

- 50 porteuses EGSM : $n = 975 \dots 1024$

$$f_m(n) = 890 + ((n - 1024) \times 0.2)$$

$$f_d(n) = f_m(n) + 45 \text{ MHz}$$

- 374 porteuses DCS : $n = 512 \dots 885$

$$f_m(n) = 1710.2 + ((n - 512) \times 0.2)$$

$$f_d(n) = f_m(n) + 75 \text{ MHz}$$

Remarque : La fréquence de la voie montante est calculée en utilisant l'écart duplex constant pour chaque système. La figure ci-après illustre parfaitement le concept de cette méthode de multiplexage.

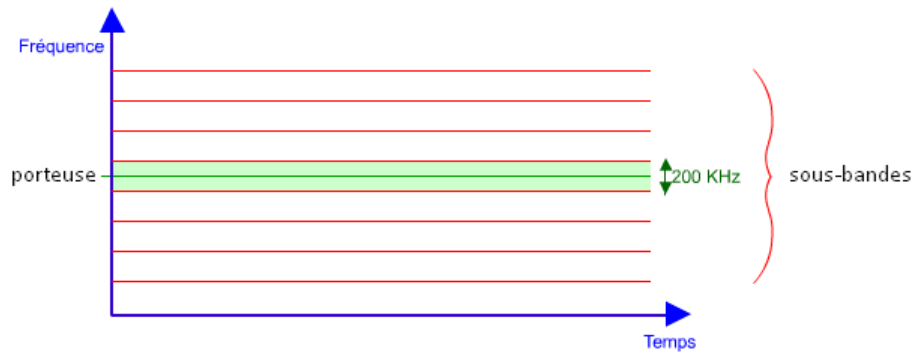


Figure 2 : multiplexage fréquentiel

2. Multiplexage temporel (TDMA)

Les bande GSM sont divisée donc en canaux de 200Khz, chaque porteuse est partagée à son tours en 8 intervalles de temps identiques appelés Time-slot. La durée d'un time-slot est égale à 577µs environs, cette dernière est fixée pour le GSM à 7500 période du signal de référence fourni par un quartz à 13 MHz qui rythme tous les mobiles GSM $7500 / (13 \text{ MHz}) = 577\mu\text{s}$. Le regroupement de ces 8 intervalles de temps numérotés de 0 à 7, forme une trame TDMA de durée 4,615 ms.

$$T_{tdma} = 8 * T_{slot} \text{ de } 577\mu\text{s} = 4615 \mu\text{s}$$

Un mobile n'utilise qu'un time slot par trame TDMA, il est donc évident que 8 utilisateurs peuvent utiliser une même fréquence, mais en réalité une trame TDMA supporte 7 communication et un canal de signalisation.

La figure qui vient montre ce principe d'accès multiple :

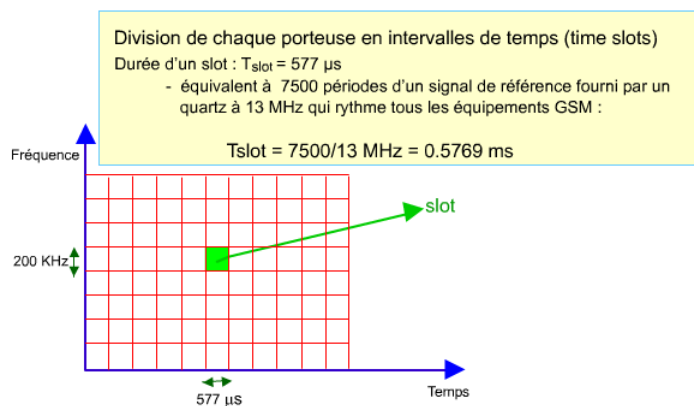


Figure 3 : Multiplexage TDMA

Comme il est exclus de transmettre toutes les informations en une fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames. Les trames sont regroupées comme suit :

2.1. Organisation des trames

1 trame = 8 IT de 577 µs

multitraine 26 : 26 trames de 4,615 ms

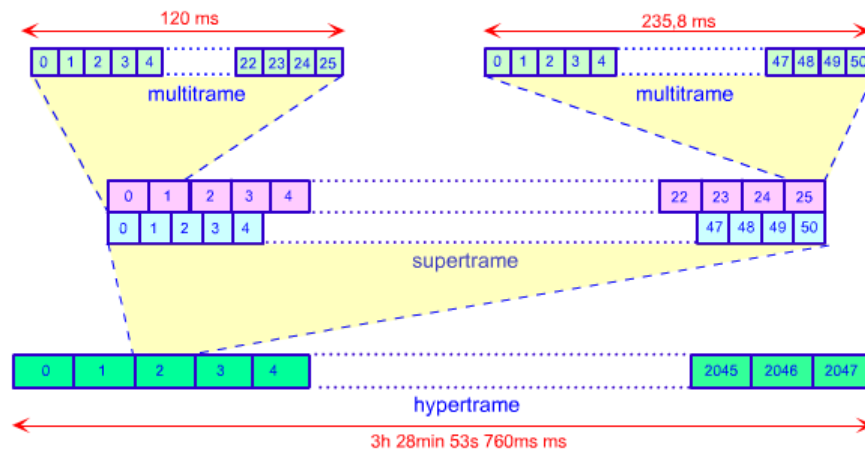
multitraine 51 : 51 trames

supertrame 26 : 26 multitrames 51 = 1326 trames

supertrame 51 : 51 multitrames 26 = 1326 trames

hypertrame : 2048 supertrames = 2.715.648 trames = 03 h 28 mn 53 s 760 ms

Cette structure est pensée, en cas où en à un moment déterminé, une bande de fréquences est sujette à de fortes perturbations, seule une petite quantité de données sera perturbée.



Pour définir un canal logique, on dispose pour la norme GSM de deux structures de multi-trames, la multi-trame à 26 trames d'une durée de 120 ms et la multitrame à 51 trames d'une durée de 235,8 ms. Pour disposer malgré tout d'une structure commune, on définit une structure secondaire qui est la supertrame. Composée soit de 51 multitrames à 26 trames, soit de 26 multitrames à 51 trames. Enfin, une structure d'hypertrame est définie à partir de 2048 supertrames.

Dans l'hypertrame, chaque trame TDMA est repérée par un compteur FN (Frame Number) qui varie de 0 à $26 \times 51 \times 2048 - 1 = 2\,715\,647$.

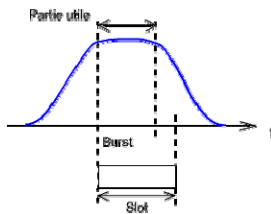
- Le compteur FN constitue la base de temps propre d'une BTS.
- L'hypertrame d'une BTS démarre au même instant pour toutes les porteuses.
- La BTS transmet régulièrement au mobile le compteur FN pour lui permettre de se repérer dans l'hypertrame.
- A un instant donné, les compteurs FN de 2 BTS peuvent avoir une valeur différente.

2.2. Constitution d'un burst

Chaque intervalle constitue un canal de communication dans lequel un message élémentaire appelé paquet est transmis périodiquement. Ce paquet est un ensemble structuré de bits. Chaque slot sert donc au transport d'un canal logique, le burst est le contenu physique du slot, on retrouve donc différents types de bursts en fonctions des différents types de canaux logiques.

Un burst prend place dans un time slot de durée : $T_{\text{slot}} = 577 \mu\text{s}$.

En fait, la partie utile d'un burst a une durée inférieure pour laisser une période de garde.



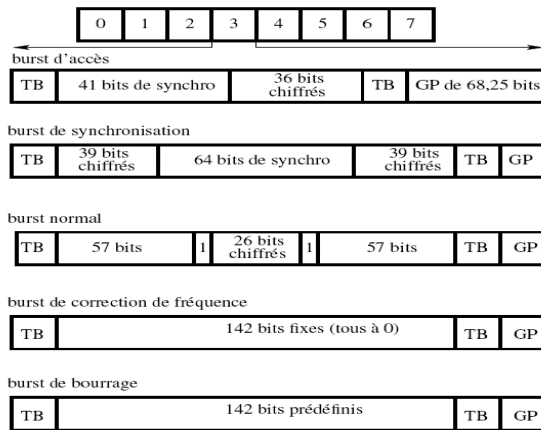
Plusieurs formats de bursts sont définis par la norme pour assurer des fonctions particulières mais la structure générale reste commune et comprend :

- Des bits de données codés et chiffrés.
- Une séquence d'apprentissage connue du récepteur.
- Et quelques bits supplémentaires.

La typologie des paquets dans la norme GSM définit cinq types de paquets :

- **d'accès** : Ce burst est émis, sur un canal dédié, par la station mobile lorsqu'elle cherche à entrer en contact avec le réseau soit pour l'établissement d'une communication, soit pour un Handover. Il est le plus court des quatre types car il ne contient que 77 bits (41 bits de synchronisation et 36 bits d'information). Son temps de garde est de 68,25 bits, soit 0,252 [ms]. Ce temps de garde permet de tenir compte de grandes cellules et d'établir ainsi une communication avec un mobile distant jusqu'à 35 [km]. En calculant la durée de voyage d'un burst, la station peut asservir l'instant du début d'émission pour compenser le retard entraîné par la propagation des ondes. En effet, l'horloge interne des récepteurs est synchronisée grâce à un top de synchronisation envoyé par la station de base.
- **de synchronisation** : Pour ce type de burst, 78 bits d'informations sont véhiculés pour les stations mobiles. Ces bits contiennent les renseignements concernant les fréquences à utiliser et la localisation (identité de la station de base, de la zone et de la cellule).
- **de correction de fréquence** : Le type de burst au format le plus simple. La station de base envoie 142 bits de données servant à prévenir des interférences possibles avec des fréquences voisines.
- **de bourrage** : Lorsqu'un mobile est allumé, le terminal teste le niveau de puissance des fréquences des cellules proches pour déterminer la station de base à laquelle il doit s'asservir. Le burst de bourrage (*dummy burst*) est une séquence prédéfinie qui sert donc d'étalon de puissance. Il est aussi utilisé pour forcer une décision de Handover.
- **Normal** : Ce burst transporte $2 * 57 = 114$ bits d'information séparées par 26 bits qui sont une séquence d'apprentissage destinée à régler les paramètres de réception. De plus, la zone TB correspond à 8,25 bits. Enfin, il faut ajouter à cela 2 bits qui indiquent s'il s'agit d'un canal de données (TCH) ou d'un canal de signalisation (FACCH) et 6 bits pour marquer la montée ou la descente en amplitude.

Voici la figure qui les illustre ces 5 types de bursts :



ADDENDUM SUR LE BURST NORMAL

Ce burst est utilisé sur tous les canaux logiques autres que le RACH, le SCH et le FCCH.

La norme définit un burst de bourrage (dummy burst) à partir du burst normal : Il contient une séquence fixe ne transportant pas d'informations et est utilisé par la BTS sur la fréquence balise pour maintenir une puissance constante même lorsqu'elle n'a pas d'informations à émettre.

Gabarit

Il existe un gabarit à respecter concernant les temps de montée et de baisse de la puissance d'émission. Ce gabarit permet de s'assurer que 2 bursts émis dans des slots consécutifs ne se chevauchent pas au niveau de leur partie utile (hors effet du délai de propagation).

Séquence d'apprentissage

Une séquence d'apprentissage est une suite d'éléments binaires fixés qui possède des propriétés particulières d'autocorrélation.

Un ensemble de 8 séquences distinctes est défini dans GSM.

La séquence utilisée dans une cellule est fonction du code de couleur BSIC attribué à la cellule. Cela permet au mobile de rejeter les bursts qui viennent d'autres cellules utilisant la même fréquence.

La séquence d'apprentissage est utilisée pour :

- La synchronisation du burst
- L'estimation du canal qui a dégradé le burst

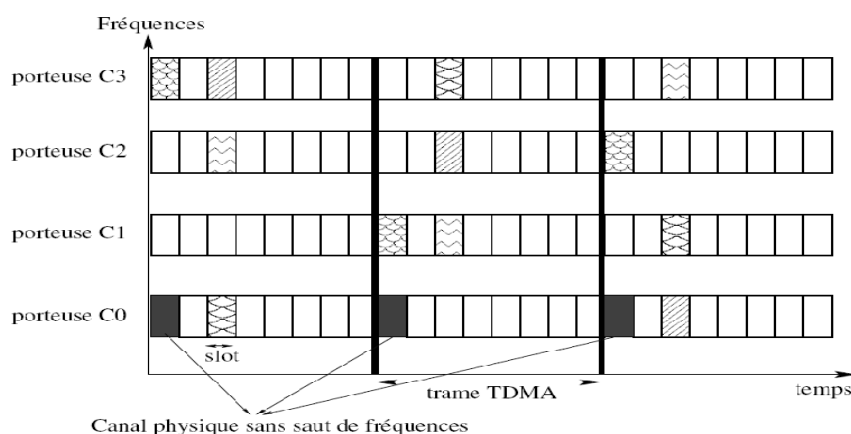
⇒ A la réception, un filtre adapté à la séquence d'apprentissage fournit un top d'horloge et donne le profil des trajets multiples du canal.

2.3. Saut en fréquences (*Frequency Hopping* – FH)

Pour protéger les canaux d'une source radio parasite, l'interface radio du GSM, utilise le saut de fréquence à chaque émission de message ou de burst. En effet la fréquence porteuse utilisée pour transmettre une salve de données fluctue au cours du temps c'est le principe du saut de fréquence.

La norme GSM définit un parcours de fréquence cyclique ou pseudo-aléatoire, comprenant au plus 64 fréquences porteuses. Habituellement, un algorithme standardisé génère une suite pseudo-aléatoire de nombres "si" compris dans une liste de N fréquences disponibles pour les sauts.

Le saut de fréquence permet de lutter contre les évanouissements sélectifs dus à la diversité de fréquence. Au lieu d'avoir un niveau de brouillage élevé sur certaines porteuses uniquement, le FH apporte une gestion dissemblable en moyennant le niveau d'interférences globale sur toutes les porteuses. La figure qui suit illustre le principe du saut de fréquence.



Séquences de porteuses

Les séquences de porteuses sont définies à partir d'un ensemble de N porteuses choisies parmi toutes celles attribuées à la BTS. Ces N porteuses vont constituer ce qu'on appelle la MA_List, et on les numérote de 0 à N-1 pour obtenir l'Index MA_List. Un algorithme spécifié dans la norme génère à partir du numéro de trame FN (*Frame Number*) et d'un paramètre HFN (*Hopping Frame Number*) une suite pseudo aléatoire de nombres *si* compris entre 0 et N-1.

En plus, lors de l'allocation d'un canal, la BTS précise au mobile un index MAIO (*Mobile Allocation Index Offset*) compris entre 0 et N-1.

Le mobile détermine alors le numéro des porteuses à utiliser pour effectuer le saut de fréquence en ajoutant l'index MAIO au nombre *si*, cette addition se fait modulo N.

Pour illustrer cette séquence de porteuses, on prend un exemple où le nombre de fréquences attribuées à la BTS est égal à 3. On aura :

$$N = 3$$

$$\text{MA_List} = \{f_1, f_2, f_3\}$$

$$\text{Index MA_List} = \{0, 1, 2\}$$

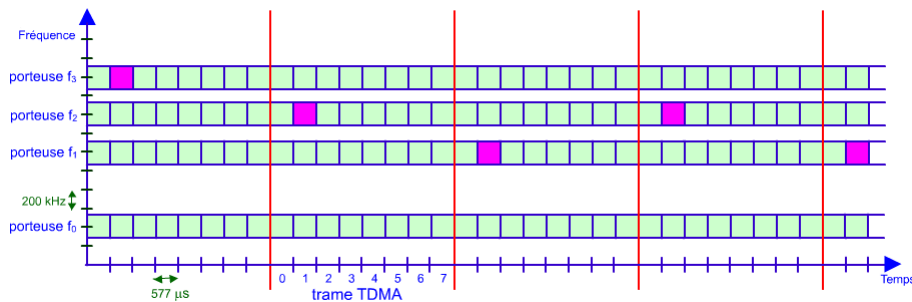
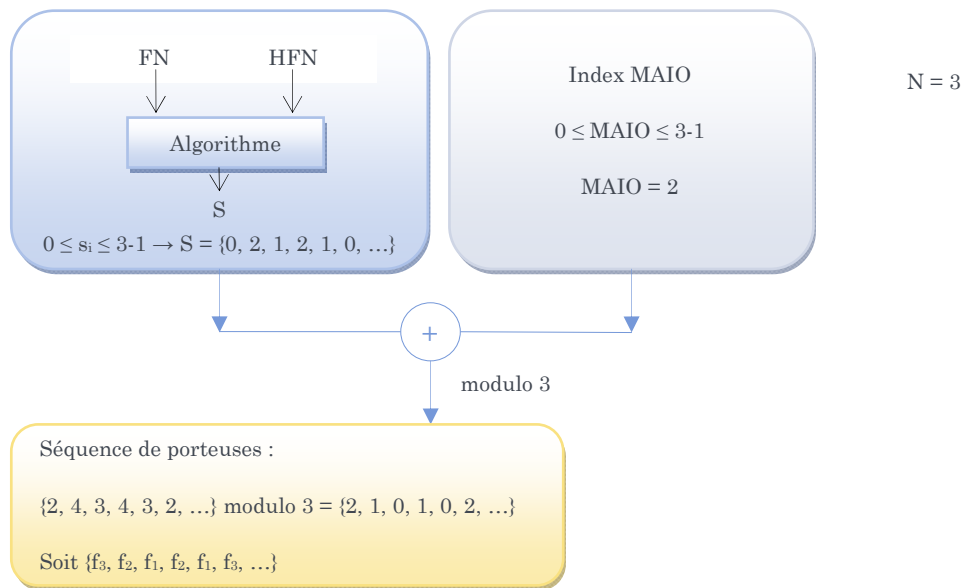
$$0 \leq s_i \leq N-1 \rightarrow S = \{0, 2, 1, 2, 1, 0, \dots\}$$

$$0 \leq \text{MAIO} \leq N-1 \rightarrow \text{MAIO} = 2$$

$$(S + \text{MAIO}) \text{ modulo } N = \{2, 4, 3, 4, 3, 2, \dots\} \text{ modulo } 3 = \{2, 1, 0, 1, 0, 2, \dots\}$$

Soit : $\{f_3, f_2, f_1, f_2, f_1, f_3, \dots\}$

Le schéma montre la séquence de porteuses obtenue dans notre exemple :



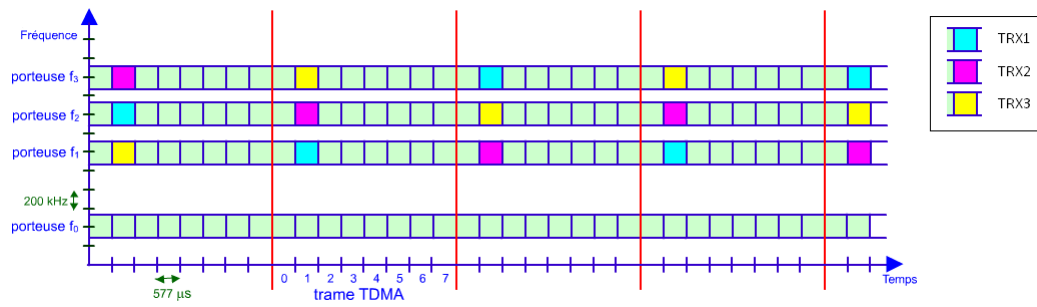
Remarque :

- Les différents TRX de BTS se voient attribuer différents index MAIO. Si on poursuit l'exemple précédent, en admettant que la BTS ait trois TRX, et qu'ils aient respectivement les MAIO 2, 1 et 0, alors leurs séquences porteuses seraient :

Pour $\text{TRX}_1 \rightarrow \{1, 3, 2, 3, 2, 1, \dots\} \text{ mod } 3 = \{1, 0, 2, 0, 2, 1, \dots\} \rightarrow \{f_2, f_1, f_3, f_1, f_3, f_2, \dots\}$

Pour $\text{TRX}_2 \rightarrow \{2, 4, 3, 4, 3, 2, \dots\} \text{ mod } 3 = \{2, 1, 0, 1, 0, 2, \dots\} \rightarrow \{f_3, f_2, f_1, f_2, f_1, f_3, \dots\}$

Pour $\text{TRX}_3 \rightarrow \{3, 5, 4, 5, 4, 3, \dots\} \text{ mod } 3 = \{0, 2, 1, 2, 1, 0, \dots\} \rightarrow \{f_1, f_3, f_2, f_3, f_2, f_1, \dots\}$



Avec le HF, les séquences de porteuses sont orthogonales, elles ne donnent jamais les mêmes numéros de fréquence pour un même slot. Il n'y a donc pas d'interférences au sein d'une même cellule.

Toutefois, deux BTS différentes peuvent se voir attribuer les mêmes fréquences. Pour éviter les interférences co-canal, le paramètre HSN est introduit. Ainsi, même en utilisant les mêmes fréquences, les BTS génèrent des suites pseudo-aléatoires différentes et donc des séquences de porteuses différentes.

Si on attribut l'exemple précédent à deux BTS (BTS1, BTS2), utilisant les mêmes fréquences porteuses et des HSN différents, on pourrait avoir :

BTS1 : $\{2, 4, 3, 4, 3, 2, \dots\} \bmod 3 = \{2, 1, 0, 1, 0, 2, \dots\} \rightarrow \{f3, f2, f1, f2, f1, f3, \dots\}$

BTS2 :

$S = \{0, 1, 2, 2, 0, 1, \dots\}$

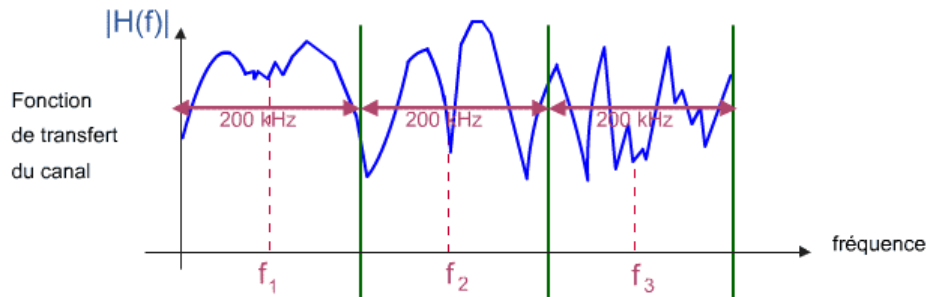
Avec MAIO = 2 : $\{2, 3, 4, 4, 2, 3, \dots\} \bmod 3 = \{2, 0, 1, 1, 2, 0, \dots\} \rightarrow \{f3, f1, f2, f2, f3, f1, \dots\}$

Avec ce procédé, les interférences co-canal ne sont pas nulles, mais considérablement minimisées. Il existe une faible probabilité de transmettre simultanément sur les mêmes fréquences porteuses.

Apports du saut de fréquence

L'utilisation du saut de fréquence dans le GSM permet d'augmenter l'efficacité du codage canal et de l'entrelacement par effet de "moyennage" des évanouissements et des interférences.

- **Résistance aux multi-trajets par l'introduction d'une diversité de fréquences :**
Le signal envoyé peut subir des distorsions à un certain niveau de son émission. Mais avec le FH, on peut toujours minimiser les pertes en utilisant les données reçues sur les fréquences précédemment utilisées.

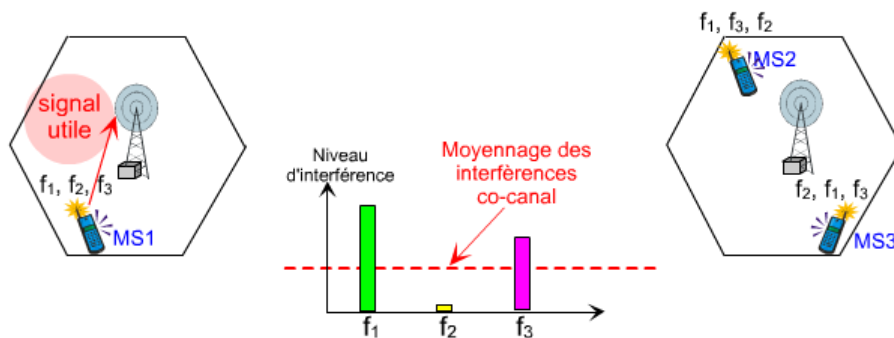


Du schéma, il est clair que le signal est perdu au niveau de la fréquence f_3 , mais les données émises peuvent être reconstituées à partir des bursts émis sur les fréquences f_1 et f_2 .

– **Robustesse face aux interférences :**

Un mobile change de porteuse à chaque émission, il est donc brouillé par des mobiles différents à chaque émission.

Si on suppose que deux BTS utilisent des mêmes fréquences (f_1, f_2, f_3), on peut se retrouver devant les cas qui suivent :



Le burst envoyé sur f_1 par le mobile MS1 interfère avec le mobile MS2.

Il n'y a pas d'interférence sur le burst envoyé sur f_2 .

Le burst envoyé sur f_3 interfère avec le mobile MS3. Le niveau d'interférence est moins important que sur f_1 car MS3 est plus éloigné de MS1 que MS2.

Le burst envoyé sur f_1 est donc dégradé, voire perdu, mais les données émises peuvent être reconstitués grâce aux bursts émis sur f_3 et surtout f_2 .

Remarque :

- Le saut de fréquence n'est pas activé quant la charge du réseau est faible.
- Le saut de fréquence n'est possible que dans la même bande, autrement dit, les ressources radio des bandes GSM et DCS-1800 ne sont jamais mélangées.

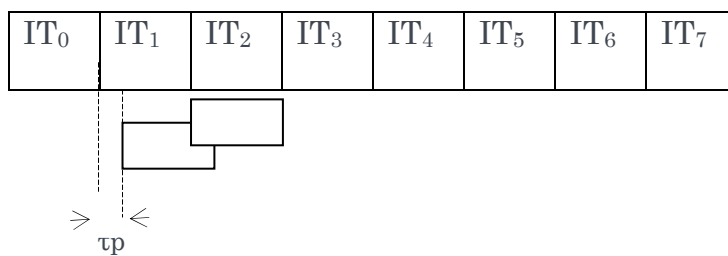
2.4. Compensation de temps de propagation aller-retour (Timing Advance – TA)

Pour ses échanges d'information, la norme GSM utilise la voie radio. Une onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière, elle prend donc 100 μ s pour parcourir 30 Km (diamètre des cellules dans le GSM).

Les utilisateurs étant à des distances variables de leur station de base, le problème de chevauchement au niveau des récepteurs BTS est présent, en effet, les informations envoyées par les différents mobiles autour d'une même fréquence porteuse entre en collision au droit de la station de base si la distance entre les mobiles et l'antenne est fort différente d'un mobile à l'autre.

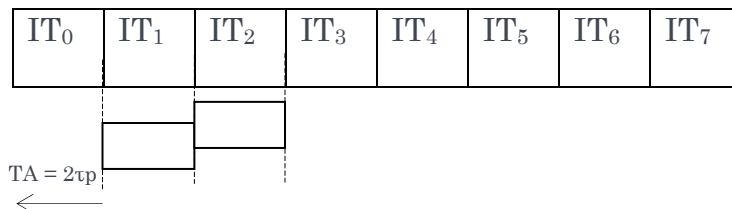
Pour pallier à cette difficulté, la station de base va compenser ce retard en gérant un paramètre TA (Time Advance) correspondant au temps de propagation aller-retour. Le mobile le plus éloigné devra avancer son temps d'envoi généré dynamiquement par sa station de base.

On illustre ce phénomène de chevauchement par un exemple classique de deux stations mobiles MS1 et MS2, la première étant à la limite de la cellule et la deuxième est située près de la station de base. On suppose maintenant, que ces deux mobiles utilisent des slots consécutifs sur la même porteuse, comme le montre le schéma suivant.



On voit très bien sur le schéma que, en l'absence de compensation de temps, les bursts émis par chacun des mobiles se chevaucheront au niveau du récepteur de la station de base.

Mais si maintenant, le mobile éloigné avance chacun de ses slots d'une durée τ_p par rapport à l'instant nominal du début du slot, alors le problème de chevauchement sera résolu, la figure qui vient le montre parfaitement :



Remarque :

- La distance entre mobile et station de base susceptible de varier en permanence, ce paramètre TA est réajuster à chaque trame et pourra prendre une valeur comprise entre 0 et 63.
- La détermination du paramètre TA permet à la station de base, de connaître la distance à laquelle se trouve le mobile. Par triangulation avec une autre station de base on pourra donc déterminer la position exacte du mobile.

II. LES CANAUX DANS LE GSM

La partie radio représente la partie délicate de la chaîne de transmission et le système doit faire face aux multiples problèmes du lien mobile-réseau (atténuations, évanouissements, interférences,...), mais aussi au niveau de la gestion du réseau : il est nécessaire d'avoir des fonctions de contrôles 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. L'utilisation des canaux (logiques) va permettre une utilisation efficace des ressources radio et une qualité de service satisfaisante.

On distingue deux types de canaux :

1. Canal physique :

Un intervalle de temps donné dans des trames TDMA successives, un canal physique est donc constitué par la répartition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière.

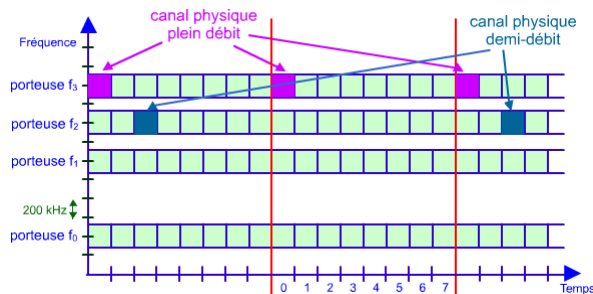
On distingue deux types de canaux physiques :

1.1. Canal physique simplexe

La répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une porteuse spécifique (ici f_3) forme un canal physique simplexe plein débit.

La norme GSM prévoit la possibilité de n'allouer qu'un slot toutes les 2 trames TDMA, on parle alors de canal demi-débit.

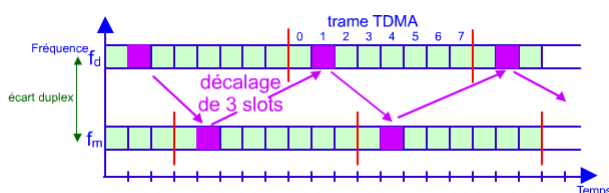
Cette possibilité est liée à l'apparition de codeurs plus performants à débit réduit (5.6 kbit/s à la place de 13 kbit/s).



1.2. Canal physique duplex

Un canal physique duplex est constitué de deux canaux physiques simplexe avec des porteuses séparées de l'écart duplex.

C'est la ressource qu'il faut utiliser pour supporter une communication téléphonique.



2. Canal logique :

Suite d'intervalles de temps dans un canal physique dédiés à une fonction spécifique

On trouve trois grands secteurs de canaux logiques :

2.1. Canaux de diffusions (*Broadcast Channel* – BCH) :

Leur rôle est la diffusion de données relatives à une cellule permettant à chaque mobile de s'accrocher au système local en récupérant les paramètres nécessaires, il occupe généralement le T_{so} de la porteuse (voie balise).

Canal	Nom complet	Slots possible	Multi-trame	Débit	Fonction
FCCH	Frequency Correction Channel	0	51	146 bits toutes les 50 ms	Collage du mobile sur la fréquence porteuse.
SCH	Synchronisation Channel	0	51	146 bits toutes les 50 ms	Indentification de la BTS et synchronisation du mobile sur celle-ci.
BCCH	Broadcast Control Channel	0	51	782 bps	Canal de diffusion spécifique à la BTS de la cellule et des BTS voisines.

Tableau 1

Remarque :

SCH permet une synchronisation complète du mobile au réseau, il réalise :

1. La synchronisation fine : pour la détermination du TA ;
2. La synchronisation logique : pour la détermination du FN (Frame Number), qui représente l'heure "logique" locale du réseau.

2.2. Canaux communs de contrôle (Common Control Channel – CCCH) :

Ils sont réservés aux opérations de gestion des communications, c'est-à-dire à l'établissement et l'allocation de canaux de trafic.

Canal	Nom complet	Slots possible	Multi-trame	Débit	Fonction
RACH	Random Access Channel	0, 2, 4, 6	51	36 bits	Il permet au mobile de signaler à la BTS qu'il désire effectuer une opération sur le réseau.
PCH	Paging Channel	0, 2, 4, 6	51	456 bits	Il permet de diffuser les messages de paging lorsque le réseau veut communiquer avec le mobile.
AGCH	Access Grant Channel	0, 2, 4, 6	51	456 bits	Il est utilisé pour l'allocation d'un canal dédié à un mobile. Il contient la description complète du canal utilisé : numéro de la porteuse du slot utilisé (contient également le paramètre TA).
CBCH	Cell Broadcast Channel	0, 1, 2, 3	51	Variable	Il offre aux usagers présents dans la cellule des informations spécifiques (informations routières, météo). Inutilisé de nos jours.

Tableau 2

2.3. Canaux dédiés :

Ce sont des canaux point à point dédié à un utilisateur en particulier, ils fournissent une ressource réservée à un mobile. Le mobile se voit attribuer une paire de slots où il est le seul à émettre et à recevoir. On distingue deux types de canaux dédiés :

2.3.1. Canaux dédiés de signalisation :

Ils sont utilisés pour le transfert de message de signalisation.

Canal	Nom complet	Slots possible	Multi-trame	Débit	Fonction
SACCH	Slow Associated Control Channel	0 à 7	51 ou 26	340 bps	Canal de supervision d'une liaison : les qualités, remonté des mesures, etc.
SDCCH	Stand-Alone Dedicated Control Channel	0 à 7	51	782 bps	Canal alloué aux phases d'établissement de la communication, signalisation et mise à jour de la localisation, etc.
FACCH	Fast Associated Control Channel	0 à 7	26	9.2 kbps	Canal servant à exécuter les Handovers. Il prend momentanément le slot réservé au canal TCH.

Tableau 3

2.3.2. Canaux dédiés de trafic :

Utilisés pour le transfert de la parole (à 13kbts/s) et de données (jusqu'à 12 Kbits/s).

Canal	Nom complet	Slots possible	Multi-trame	Débit	Fonction
TCH	Traffic Channel	0 à 7	26	13 kbps	Canal supportant le trafic voix ou data (CDCH)

Remarque : Sur un canal physique, on peut placer soit un TCH avec son SACCH associé, soit 8 canaux SDCCH avec leurs SACCH associés.

III. GESTION DE LA RESSOURCE RADIO

La sélection de cellule est un processus activé lors de la mise sous tension d'un mobile et lors d'une sortie de cellule en état de veille (on parle alors de re-sélection de cellule).

Pour le mobile, ce processus consiste à choisir une BTS offrant une qualité de service acceptable puis à se caler sur cette cellule.

Le choix de la cellule est fonction de critères radio :

- Le critère d'affaiblissement C1
- Le critère de re-sélection C2

Pour optimiser le lien radio, c'est-à-dire minimiser le niveau d'interférences global et la puissance consommée par les mobiles, le réseau GSM met en œuvre deux procédés :

- Le contrôle de puissance
- Le mode de transmission discontinue

PROCESSUS DE SÉLECTION DE CELLULE :

Ce processus comprend plusieurs phases :

- ♦ La constitution d'une liste de voies balise candidates ;
- ♦ L'étude des voies balises candidates et le choix d'une cellule ;
- ♦ La sélection de PLMN si nécessaire.

1. Constitution d'une liste de voies balises candidates

La sélection d'une liste de voix balises candidate, se fait normalement sur l'ensemble des fréquences possibles (124 dans GSM et 374 dans DCS) lorsque le mobile ne dispose d'aucune liste ou lorsque la sélection sur liste a échoué.

- ♦ Le mobile doit alors écouter toutes les porteuses et mesurer le champ reçu en réalisant une moyenne sur plusieurs mesures (au moins 5 mesures par fréquence étalées sur au moins 3 s).
- ♦ Il détermine les porteuses les mieux reçues (30 porteuses en GSM et 40 en DCS), mémorise celles qui supportent une voie balise (détection d'un canal de synchronisation SCH) et constitue ainsi une liste de fréquences balises candidates.

La sélection se fait sur liste lorsque la MS a en mémoire les fréquences balises du PLMN sélectionné lors de la précédente mise sous tension.

2. Étude des voies balises candidates et choix d'une cellule

La MS recherche une cellule convenable dans la liste en commençant par la fréquence balise sur laquelle le champ reçu est le plus fort.

Une cellule est convenable si :

- * Elle fait partie du PLMN sélectionné ;
- * Elle n'est pas interdite (pour cause de surcharge) ;
- * Elle ne se trouve pas dans une zone de localisation interdite ;
- * L'affaiblissement radio entre la MS et la BTS est inférieur à un seuil établi par l'opérateur (critère C1 vérifié).

Lorsque la MS a trouvé une cellule convenable, elle lit l'identité de la zone de localisation, s'inscrit si nécessaire (par une mise à jour de localisation) puis se cale sur la cellule.

3. Sélection de PLMN

Le plus fréquemment l'abonné reste dans son PLMN nominal donc il n'y a pas de processus de sélection de PLMN. A la mise sous tension, le PLMN sélectionné est le PLMN nominal et la première voie balise trouvée fait partie de ce PLMN.

A l'étranger, la recherche de voies balises sur liste échoue car les voies détectées ne portent pas le numéro du PLMN sélectionné. Le mobile entame alors un processus de sélection de PLMN.

- * En mode automatique, le choix se fait d'après une liste préétablie de PLMN (classés par ordre de priorité suivant les accords de roaming de l'opérateur) stockée dans la carte SIM de l'abonné
- * En mode manuel, c'est l'abonné qui choisit

Une fois le PLMN choisi, le mobile tente une inscription sur une cellule convenable et une fois l'inscription acceptée, le PLMN est sélectionné et le mobile se cale sur la voie balise.

CALAGE SUR UNE CELLULE

Lorsque le mobile se cale sur une cellule, il réalise constamment un certain nombre d'opérations de surveillance, même lorsqu'il n'est pas en communication (état de veille)

Lecture des informations :

- ♦ Informations système diffusées sur la voie balise (dans le canal de diffusion BCCH).
- ♦ Messages de paging (émis sur le canal de paging PCH) pour répondre à un éventuel appel.

Réalisation des mesures :

- ♦ Mesure du niveau de champ moyen RXLEV_{dl} reçu sur la fréquence balise de la cellule courante pour vérifier le critère d'affaiblissement C1 (au minimum toutes les 5 secondes)
- ♦ Mesure du niveau de champ moyen RXLEV_{dl(n)} reçu sur les fréquences balises des cellules voisines (liste émise sur le canal de diffusion BCCH) pour déterminer le critère de re-sélection de cellule C2 qui permet de comparer les cellules voisines à la cellule courante (au minimum toutes les 5 secondes).

La norme GSM ne précise que la fréquence minimale des mesures.

Un compromis est à trouver entre la fréquence des mesures (et les performances) et la consommation d'énergie du mobile.

PROCESSUS DE RE-SÉLECTION

Le mobile en veille active un processus de re-sélection de cellule dans l'un des cas suivants :

- ♦ Le critère C1 n'est plus vérifié (ce qui traduit un affaiblissement trop important entre la MS et la BTS) ;
- ♦ Le critère C2 est vérifié (ce qui signifie qu'il existe une cellule plus favorable que la cellule courante) ;
- ♦ La MS ne reçoit plus les messages de paging avec une qualité suffisante sur le lien descendant (c'est-à-dire que le niveau d'interférences co-canal est trop élevé) ;
- ♦ La cellule courante passe dans l'état interdit à cause d'une surcharge ;
- ♦ Les tentatives d'accès aléatoire ont échoué après le nombre maximal d'essais autorisé.

CRITÈRE D'AFFAIBLISSEMENT C1

Ce critère assure la bonne qualité d'une communication entre une MS et une BTS (dans les sens descendant et montant) en l'absence d'interférences. Il intervient dans les processus de sélection et de re-sélection de cellule.

Vérification du critère C1 lors de la sélection de cellule

La MS doit vérifier que la cellule dont la fréquence balise présente le plus fort niveau de champ $RXLEV_dl$ est convenable. Pour cela, elle recueille sur la voie balise (via le canal de diffusion BCCH) les valeurs des paramètres suivants :

- ♦ $RXLEV_ACCESS_MIN$: niveau minimal de réception exigé pour accéder à la cellule. C'est le niveau nécessaire pour que la MS reçoive correctement la BTS, ce niveau doit être supérieur à la sensibilité de la MS.
- ♦ $MS_TXPWR_MAX_CCH$: puissance max à laquelle le mobile doit émettre pour l'accès initial au réseau (sur canal RACH). C'est la puissance nécessaire pour que la BTS reçoive correctement un mobile situé en bordure de cellule.

Pour assurer la qualité de la liaison descendante, il faut que le niveau du signal $RXLEV_dl$ reçu par le mobile soit supérieur au minimum exigé :

$$A = RXLEV_dl - RXLEV_ACCESS_MIN [dBm] \geq 0$$

Pour assurer la qualité de la liaison montante, il faut que le mobile puisse fournir la puissance exigée par la BTS :

$$B = MS_TXPWR_MAX_CCH - P [dBm] \leq 0$$

Où P est la puissance d'émission max de la MS.

Cette deuxième condition impose un niveau minimal de puissance à la MS. Cependant si la MS est proche de la BTS, il est possible d'établir une communication de bonne qualité avec une puissance plus faible.

Remarque :

Le déficit de puissance peut être compensé par un faible affaiblissement, d'où le recours à un paramètre global C1 : $C1 = A - \max(B, 0)$

Critère d'affaiblissement satisfait si $C1 \geq 0$

Re-sélection de cellule si le critère C1 n'est plus satisfait.

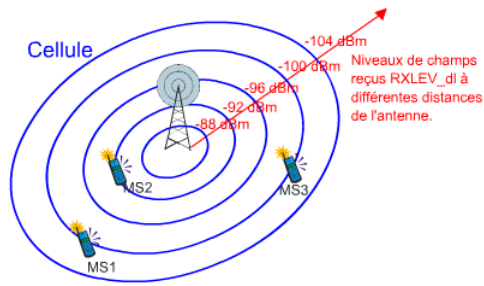
Exemple :

Soit une BTS qui émet à différents niveaux suivant la distance la séparant des mobiles qui la sollicitent.

Soient trois mobiles MS1, MS2 et MS3 à différentes distances de la BTS, recevant des niveaux de champ comme indiqué sur la figure. On calcule le critère d'affaiblissement C1 pour chaque mobile, sachant que :

MS1 : classe 2, P = 39 dBm

MS2 et MS3 : classe 4, P = 33 dBm



Calcul de C1 pour MS1 :

$$A = -100 + 102 = 2 \text{ dBm} \geq 0$$

⇒ la liaison descendante est assurée

$$B = 39 - 39 = 0 \leq 0$$

⇒ la liaison montante est assurée

$$C1 = A - \max(B, 0) = 2 \geq 0$$

⇒ le critère C1 est vérifié

MS1 peut sélectionner cette BTS

Calcul de C1 pour MS2

$$A = -92 + 102 = 10 \text{ dBm} \geq 0$$

⇒ la liaison descendante est assurée

$$B = 39 - 33 = 6 \text{ dBm} \geq 0$$

⇒ la liaison montante n'est pas assurée, MS2 n'est pas assez puissante.

$$C1 = A - \max(B, 0) = 10 - 6 = 4 \geq 0$$

⇒ le critère C1 est vérifié quand même car MS2 est située près de la BTS : le déficit de puissance est compensé par un faible affaiblissement.

MS2 peut sélectionnée cette BTS

Calcul de C1 pour MS3

$$A = -100 + 102 = 2 \text{ dBm} \geq 0$$

⇒ la liaison descendante est assurée

$$B = 39 - 33 = 6 \text{ dBm} \geq 0$$

⇒ la liaison montante n'est pas assurée, MS3 n'est pas assez puissante.

$$C1 = A - \max(B, 0) = 2 - 6 = -4 \leq 0$$

⇒ le critère C1 n'est pas vérifié car MS3 est située trop loin de la BTS.

MS3 ne peut pas sélectionner cette BTS

CRITÈRE DE RE-SÉLECTION C2

Ce critère assure le rattachement constant d'une MS à la cellule la plus favorable en l'absence d'interférences. Il intervient dans le processus de re-sélection de cellule.

Re-sélection de cellule si le critère C2 est vérifié

Le paramètre C2 est calculé pour la cellule courante et les 6 meilleures cellules voisines à partir :

- ♦ du paramètre C1 calculé sur la cellule considérée
- ♦ et du paramètre CELL_RESELECT_OFFSET diffusé sur la voie balise de la cellule considérée (canal BCCH) qui permet à l'opérateur de favoriser certaines cellules par rapport à d'autres

Remarque :

$$C2 = C1 + CELL_RESELECT_OFFSET$$

Critère C2 satisfait si : $C2_{\text{cellule voisine}} > C2_{\text{cellule courante}}$

Exemple :

Considérons deux BTS voisines avec les mêmes paramètres :

$$RXLEV_ACCESS_MIN = -99 \text{ dBm}$$

$$MS_TXPWR_MAX_CCH = 33 \text{ dBm}$$

$$CELL_RESELECT_OFFSET = 0$$

Ainsi qu'une station mobile MS de classe 4 ($P = 33 \text{ dBm}$) qui se déplace d'un point P à un point Q.

On vérifie que le mobile est bien calé sur la cellule 1

$$A = RXLEV_dl - RXLEV_ACCESS_MIN [\text{dBm}] = -98 + 99 = 1$$

$$B = MS_TXPWR_CCH_MAX - P = 33 - 33 = 0$$

$$C1 = A - \max(B, 0) = 1 - 0 \geq 0$$

On cherche le point où le mobile procédera à un changement de cellule.

On calcule le C2 sur la cellule courante :

$$C2 = C1 + CELL_RESELECT_OFFSET$$

$$C1 = A - \max(B, 0)$$

$$A = RXLEV_dl1 + 99$$

$$B = 0$$

$$\Rightarrow C1 = RXLEV_dl1 + 99$$

$$C2 = RXLEV_dl1 + 99 + 0$$

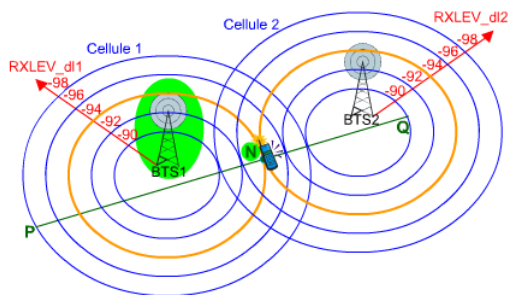
On calcule le C2 sur la cellule voisine :

$$\begin{aligned}C1 &= A - \max(B, 0) \\A &= RXLEV_dl2 + 99 \\B &= 0 \\ \Rightarrow C1 &= RXLEV_dl2 + 99 \\C2 &= RXLEV_dl2 + 99 + 0\end{aligned}$$

On procède à la comparaison de C2 de la cellule courante avec le C2 de la cellule voisine, passage à la cellule 2 si $C2_{cellule2} > C2_{cellule1}$

$$\begin{aligned}RXLEV_dl2 + 99 &> RXLEV_dl1 + 99 \\RXLEV_dl2 &> RXLEV_dl1\end{aligned}$$

La re-sélection de la cellule 2 se fait donc au point N :



Au point N, $RXLEV_dl2 = RXLEV_dl1$
 \Rightarrow Re-sélection de la Cellule 2

Remarque :

Si le mobile se trouve en Q et revient vers P, les mêmes procédés de calcul seront observés et le point N sera toujours le point de re-sélection de cellule (mêmes paramètres de calcul).

Dans le cas réel, le calcul de C2 s'effectue pour les six meilleures cellules voisines.

Utilisation d'un paramètre supplémentaire *CELL_RESELECT_HYSTERESIS*

Ce paramètre est utilisé lorsque la cellule voisine appartient à une autre zone de localisation.

Il sert à empêcher des mises à jour de localisation trop fréquentes lorsqu'un mobile se déplace à la frontière de deux zones de localisation. Dans ce cas, il y a risque de sélection alternative de cellules appartenant à ces deux zones (effet ping-pong).

Ce paramètre diffusé sur la voie balise (canal BCCH).

Remarque :

Le critère C2 devient :

$$C2_{cellule\ voisine} > C2_{cellule\ courante} + CELL_RESELECT_HYSTERESIS$$

Exemple :

Reprenons l'exemple précédent et admettons que les deux BTS appartiennent à deux zones de localisation différentes.

Si le mobile se déplace autour du point N, on observe un effet ping-pong entre les deux zones de localisation.

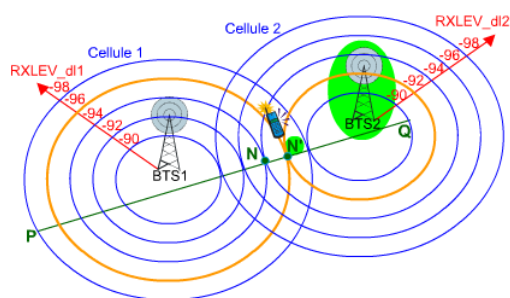
Une valeur typique du paramètre CELL_RESELECT_HYSTERESIS est de 4 dB (en milieu urbain).

Avec cette valeur, le mobile va re-sélectionner la cellule 2 au point N'.

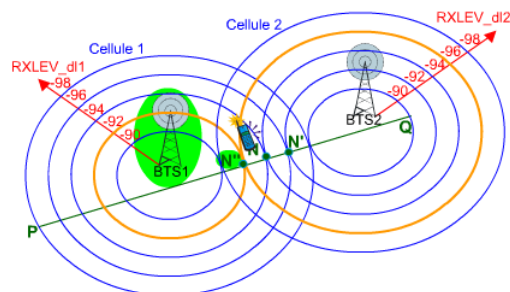
En effet, on a :

$$C2 \text{ cellule voisine} > C2 \text{ cellule courante} + \text{CELL_RESELECT_HYSTERESIS}$$

$$RXLEV_dl2 > RXLEV_dl1 + 4$$



Si maintenant, on considère que le mobile se trouve en Q et se dirige vers P, on aura une re-sélection de la cellule 1 au point N''.



Remarque :

Ce principe de fonctionnement permet d'éliminer l'effet ping-pong.

Possibilité d'introduire une composante temporelle

Cette composante, TEMPORARY_OFFSET, est utilisée pour défavoriser une cellule seulement pendant un temps donné PENALTY_TIME.

Elle permet d'empêcher les mobiles qui se déplacent avec une vitesse élevée de se caler sur des cellules de petite taille.

Remarque :

Le paramètre C2 s'écrit alors :

- ♦ Si $T < \text{PENALTY_TIME}$

$$C2 = C1 + \text{CELL_RESELECT_OFFSET} - \text{TEMPORARY_OFFSET}$$
- ♦ Si $T > \text{PENALTY_TIME}$

$$C2 = C1 + \text{CELL_RESELECT_OFFSET}$$

Exemple :

Considérons un mobile calé sur la macro-cellule. Quand le mobile arrive à proximité de la microcellule, la voie balise correspondante est placée dans la liste des six porteuses les plus puissantes. La variable T démarre alors à 0 et est incrémentée de 1 à chaque nouvelle trame TDMA. Tant que la variable T reste inférieure au paramètre PENALTY_TIME , la microcellule est défavorisée par rapport à la macro-cellule ($C2 = C1 + \text{CELL_RESELECT_OFFSET} - \text{TEMPORARY_OFFSET}$).



Si le mobile est rapide, il va quitter la microcellule avant que la variable T ne dépasse le PENALTY_TIME . Et donc, il va rester callé sur la macro-cellule.

Si le mobile est plus lent, T va devenir plus grand que le paramètre PENALTY_TIME . Dans ce cas, le mobile va effectuer une re-sélection de cellule et se caller sur la microcellule.

Contrôle de puissance

- ♦ Lorsqu'un mobile accède à une cellule (sur le canal RACH), il émet à une puissance donnée par le paramètre MS_TXPWR_MAX_CCH diffusé sur le canal BCCH.
- ♦ Ensuite un canal dédié lui est alloué par le réseau (d'abord un canal de signalisation puis un canal de trafic si nécessaire).
- ♦ Sur le canal dédié courant les augmentations ou diminutions de puissance sont commandées par le réseau, la décision s'appuie sur :
 - des mesures effectuées par la MS et la BTS
 - et un ensemble de paramètres établis pour chaque cellule

Remarque :

- ♦ Sur tous les canaux dédiés (TCH, SDCCH, SACCH, FACCH), les bursts doivent être émis avec la puissance déterminée par le mécanisme de contrôle de puissance.
- ♦ Dans le cas où la MS ne peut atteindre exactement cette puissance, elle doit s'en approcher le plus possible.

- ♦ Les bursts transmis sur la fréquence balise ne sont pas contrôlés en puissance (maintien d'une puissance constante).
- ♦ Dans la norme, l'implantation du contrôle de puissance est spécifiée au niveau des MS, elle reste optionnelle au niveau des BTS.

DÉROULEMENT DE LA PROCÉDURE

Un exemple d'algorithme est donné dans la norme, mais le choix est laissé libre aux opérateurs. Le principe général est le suivant :

Valeurs de RXLEV	Niveau en dBm	Valeur de RXQUAL	Taux d'erreur binaire (BER)
0	Moins de -110	0	< 0,2 %
1	De -110 à -109	1	De 0,2 % à 0,4 %
2	De -109 à -108	2	De 0,4 % à 0,8 %
...
i	De $(-110 + (i - 1))$ à $(-110 + i)$
...
62	De -49 à -48	6	De 6,4 % à 12,8 %
63	De -48 à -47	7	Supérieur à 12,8 %

De son côté, la BTS mesure sur ce même canal (dans le sens montant) le niveau de champ reçu RXLEV_ul et la qualité du signal reçu RXQUAL_ul et transmet les résultats au BSC dans un message MEASUREMENT RESULT.

Le BSC compare alors chaque mesure aux seuils établis pour le réseau et prend sa décision.

Cas	Résultat de la comparaison	Action effectuée
1	Niveau du signal inférieur au seuil $RXLEV_{XX} < L_{RXLEV_{XX}_P}$	Augmentation de la puissance
2	Qualité du signal supérieure au seuil $RXQUAL_{XX} > L_{RXQUAL_{XX}_P}$	
3	Niveau de signal supérieur au seuil $RXLEV_{XX} > U_{RXLEV_{XX}_P}$	Diminution de la puissance
4	Qualité du signal inférieure au seuil $RXQUAL_{XX} < U_{RXQUAL_{XX}_P}$	

$L_{RXLEV_{xx}_P}$: seuil bas pour la puissance du signal reçu

$U_{RXLEV_{xx}_P}$: seuil haut pour la puissance du signal reçu

$L_{RXQUAL_{xx}_P}$: seuil de qualité pour l'augmentation de puissance

$U_{RXQUAL_{xx}_P}$: seuil de qualité pour la réduction de puissance

(xx=dl pour la voie descendante et xx=ul pour la voie montante)

Le niveau de puissance à utiliser est envoyé par le sous-système radio à la MS sur le canal de contrôle SACCH (voie descendante).

A la réception du message, la MS ajuste sa puissance au niveau cible par pas de 2 dB toutes les 60 ms, elle indique sur le canal SACCH le niveau de puissance réel de ses émissions.

Les ordres de changement de canal dédié et de handover contiennent un niveau de puissance. La MS adopte alors immédiatement la puissance d'émission au niveau demandé.

EXÉCUTION DU HANDOVER

Les principales étapes d'exécution du Handover ont été énumérées au chapitre premier, on s'intéresse maintenant à détailler ces étapes.

Réalisation des mesures :

Pendant une communication, la MS et la BTS courante effectuent des mesures sur les canaux radio.

La MS mesure :

- sur le canal dédié courant (en sens descendant) :
La puissance du signal reçu RXLEV_dl
La qualité du signal reçu RXQUAL_dl
Ces mesures sont réalisées sur chaque burst reçu puis moyennées.
- sur les fréquences balise des cellules voisines n :
La puissance du signal reçu RXLEV_NCELL(n)
Ces mesures sont effectuées entre l'émission et la réception d'un burst et moyennées.
Parmi ces fréquences, la MS sélectionne les 6 sur lesquelles le niveau de champ reçu est le plus fort et dont les codes de couleur sont autorisés.

Les mesures concernant le canal dédié et les 6 « meilleures » cellules voisines sont transmises toutes les 480 ms à la BTS sur le canal de contrôle SACCH dans un message MEASUREMENT REPORT de la couche RR.

La BTS mesure :

- les performances du canal dédié courant (en sens montant) pour la MS considérée :
Le niveau de champ reçu RXLEV_ul
La qualité du signal reçu RXQUAL_ul

Elle estime à partir de la valeur courante du paramètre TA (Time Advance) :

- la distance qui la sépare de la MS MS_BS_DIST

Elle évalue également à partir des mesures transmises par la MS pour chaque cellule voisine n :

- le bilan de liaison (Power Budget) $PBGT(n)$

$$PBGT(n) = (\min(MS_TXPWR_MAX, P) - RXLEV_dl - PWR_C_D) \\ - (\min(MS_TXPWR_MAX(n), P) - RXLEV_NCELL(n))$$

Où :

MS_TXPWR_MAX est la puissance max à laquelle la MS est autorisée à émettre sur la cellule courante (serveuse).

P est la puissance d'émission max de la MS, définie par sa classe.

PWR_C_D est la différence entre la puissance max à laquelle la BTS est autorisée à émettre et la puissance utilisée sur le canal dédié courant après contrôle de puissance.

$MS_TXPWR_MAX(n)$ est la puissance max à laquelle la MS est autorisée à émettre sur la cellule voisine n .

L'ensemble des mesures MS et BTS est transmis au BSC dans un message MEASUREMENT RESULT. A partir de ces mesures, il va pouvoir établir une liste de cellules candidates vers lesquelles le mobile pourra se porter si un handover est déclenché.

Constitution d'une liste de cellules candidates

Le choix des cellules candidates se fait parmi les cellules voisines selon :

1. un critère portant sur la puissance du signal reçu :
 $RXLEV_NCELL(n) > RXLEV_MIN(n) + \max(0, P_a)$
2. un critère portant sur le bilan de liaison :
 $PBGT(n) > HO_MARGIN(n)$

Où :

$RXLEV_MIN(n)$ est le seuil de niveau de champ pour l'accès à la cellule n en communication.

$P_a = MS_TXPWR_MAX(n)$. C'est la différence entre la puissance max à laquelle la MS est autorisée à émettre sur la cellule n et la puissance max à laquelle elle est capable d'émettre.

$HO_MARGIN(n)$ est le seuil de bilan de liaison pour l'accès à la cellule n en communication (valeur typique de l'ordre de 4 dB).

Le BSC construit une liste ordonnée de cellules candidates en commençant par celle qui présente la valeur $(PBGT(n) - HO_MARGIN(n))$ la plus grande.

En cas de déclenchement de handover, la cellule choisie (cellule cible) est la première de la liste.

Critères de déclenchement d'un Handover

Un handover est déclenché si au moins l'un des critères suivants est satisfait :

- $RXQUAL_xx > L_RXQUAL_xx_H$ ($xx = ul$ ou dl)
⇒ Handover sur qualité
- $RXLEV_xx < L_RXLEV_xx_H$ ($xx = ul$ ou dl)
⇒ Handover sur niveau de champ

- $MS_BS_DIST > MS_RANGE_MAX$
⇒ Handover sur distance
- $PBGT(n) > HO_MARGIN(n)$
⇒ Handover sur bilan de liaison

Dans ce cas, il n'y a pas de problème sur la cellule serveuse, mais l'affaiblissement du signal est moins important avec une autre cellule.

Ce critère contribue à diminuer le niveau d'interférences global en favorisant la migration des MS vers les cellules où elles peuvent émettre avec une puissance moindre.

Ajustement des critères de déclenchement du Handover

Les paramètres intervenant dans les critères de déclenchement du handover sont prédéfinis par l'opérateur lors de la phase d'ingénierie du système. Ils sont déterminés pour chaque cellule et sont déterminants pour les performances de la procédure de Handover.

Les services d'optimisation surveillent les indicateurs suivants :

- nombre de tentatives de Handover ;
- probabilité d'échec de Handover (coupure de la communication) ;
- effet ping-pong (handover répété entre 2 stations de base) ;
- durée d'exécution du Handover ;
- quantité de ressources consommées par la procédure de handover.

Les paramètres sont ajustés au cours du temps pour minimiser les valeurs de ces indicateurs et améliorer ainsi les performances globales du réseau.

Exécution du Handover

Dans la norme GSM, seul un exemple de handover est donné. La procédure exacte est laissée au choix des opérateurs.

On distingue deux types de handover : le handover intra-cellulaire et le handover inter-cellulaire.

Handover intra-cellulaire (dans la cellule courante)

C'est le changement de canal (porteuse et numéro de slot) à l'intérieur de la cellule courante.

Ce type de handover est activé quand les mesures effectuées par la MS montrent une qualité de signal reçu faible avec un niveau de puissance élevé dans la cellule courante, ce qui traduit une dégradation de la liaison radio due aux interférences et non à l'éloignement de la MS.

Remarque : On peut considérer le passage d'un canal de signalisation SDCCH à un canal de trafic TCH comme un handover intra-cellulaire.

Handover inter-cellulaire (entre 2 cellules différentes)

C'est le transfert d'une cellule à une autre pendant une communication.

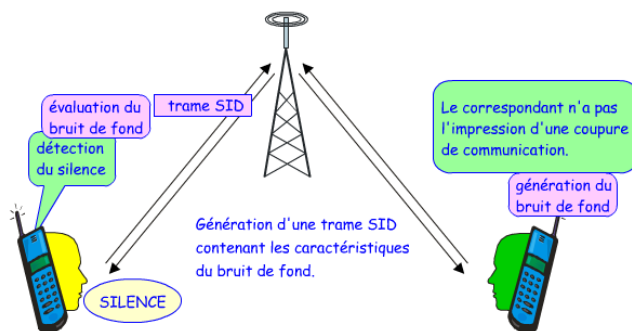
Ce type de handover est activé :

- soit pour des raisons radio : quand les mesures effectuées par la MS montrent un niveau ou une qualité de signal reçu meilleurs sur une autre cellule que la cellule courante.
- soit pour des raisons de trafic : quand une cellule doit gérer un grand nombre d'appels et que pour équilibrer le trafic, il est intéressant de transférer certaines communications sur les cellules voisines.

Remarque : Le terme handover employé seul fait référence à ce type de handover.

MODE DE TRANSMISSION DISCONTINUE (DTX)

C'est un mécanisme qui permet à l'émetteur radio d'être inactif la plupart du temps pendant les silences de parole. Lorsque l'abonné ne parle pas, la MS le détecte grâce à un détecteur d'activité vocale et transmet des trames SID (*Silence Descriptor*) à la place des trames de parole.



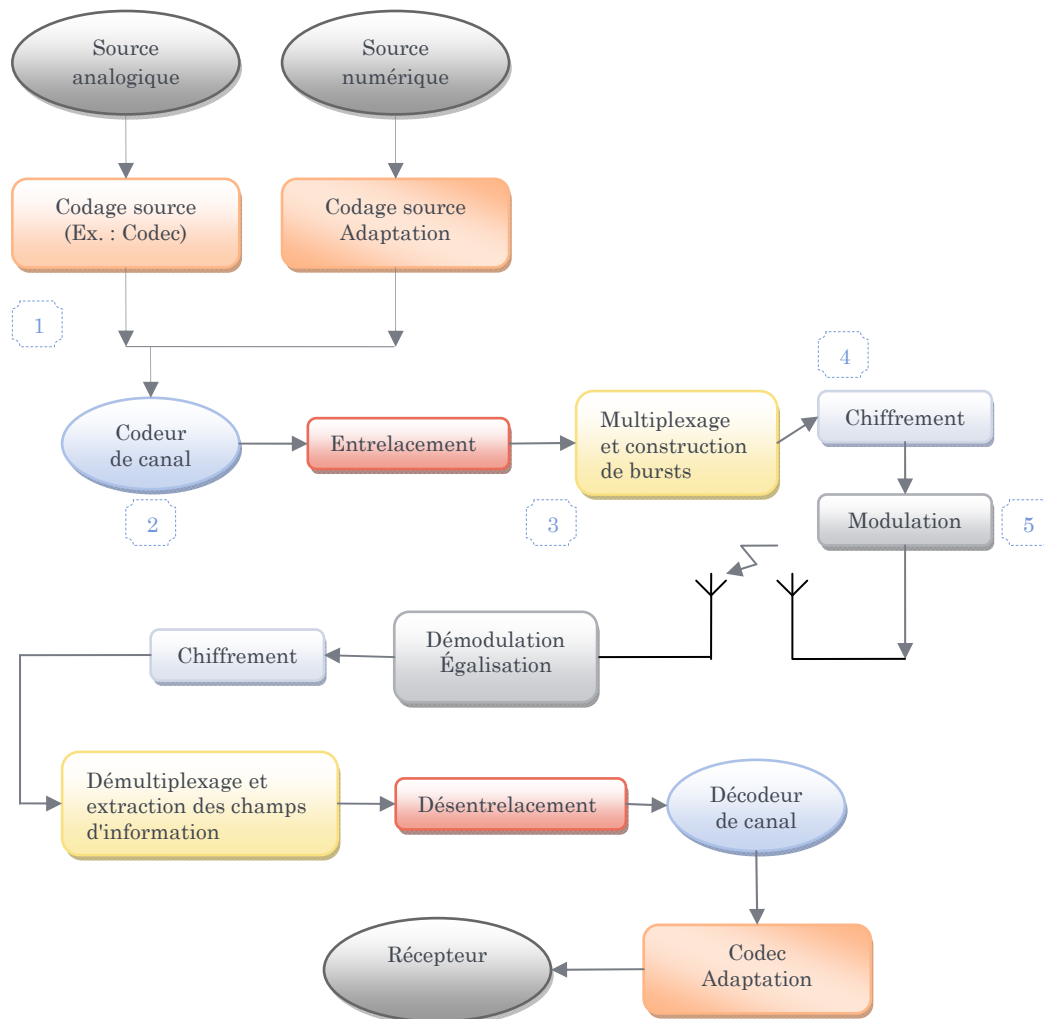
Remarque :

Le mode DTX permet de réduire le débit de codage à 500 bits/s quand l'utilisateur n'est pas en train de parler.

L'utilisation du mode DTX est une option de la cellule (un indicateur est diffusé sur le canal BCCH).

IV. FONCTIONNEMENT DU GSM

Pour comprendre le fonctionnement du GSM nous avons décidé de suivre le chemin emprunté par les données depuis la personne qui parle jusqu'à la modulation des informations en onde qui se propagent.



On définit en bref ces différentes étapes :

Codage source : compression du flux de données pour une utilisation efficace de la ressource radio.

Codage canal : Ajout de redondance dans les données pour une détection des erreurs introduites lors de la propagation dans le canal.

Entrelacement : Mélange des bits à l'intérieur d'un bloc codé pour une meilleure répartition des erreurs (qui arrivent en général sur des bits successifs) sur les données.

Construction des burst : Structuration des données en bursts (pouvant être émis à l'intérieur d'un time-slot) avec insertion d'une séquence d'apprentissage et de quelques bits spécifiques.

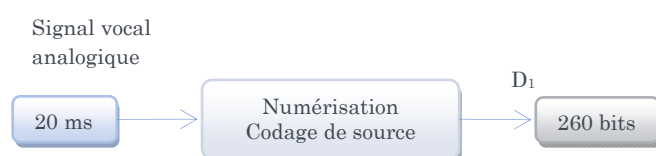
Chiffrement : Cryptage des données utiles portées par les bursts grâce à une séquence de chiffrement pour une confidentialité des échanges.

Modulation : Transformation des bursts en un signal analogique dont le spectre va occuper une des sous-bandes GSM de largeur de 200 KHz.

1. Codage de la voix

Pour transmettre la voix, il faut d'abord la couper en petites séquences puis la numériser. Ainsi des échantillons sont pris toutes les 20 ms sur une bande de fréquence de 3100 Hz.

Le codage MIC traditionnel (échantillonnage à 8 kHz sur 8bit) à 64 kbit/s dépasse largement les capacités du canal radio où le débit est limité à 13 kbit, cela nécessite donc pour des durées de 20 ms des blocs de 260 bits. En effet, la norme GSM préconise de transmettre non plus les échantillons du signal initial mais des données numériques sur 260 bits permettant de le reconstituer lors du passage analogique.



Obtention des blocs de 260 bits

Pour commencer, le signal de parole analogique est découpé en trame de 20 ms, on parle alors de paquets.

Le codage s'effectue ensuite trame par trame, ce qui va introduire un délai de 20 ms, en effet pour décoder un morceau de parole à la réception, il faut avoir reçue toute la trame de 20 ms correspondante.

Chaque trame de 20 ms est ensuite échantillonnée avec une fréquence de 8 KHz, conformément au théorème de Shannon. 160 échantillons sont ainsi obtenus, et ils vont subir une quantification sur 13 bits c'est à dire 2080 bits sur 20 ms soit un débit de 104 Kbits/s

Dans un premier temps, ce signal échantillonné est analysé pour déterminer les coefficients du filtre LPC (*Linear Predictive Coder*)

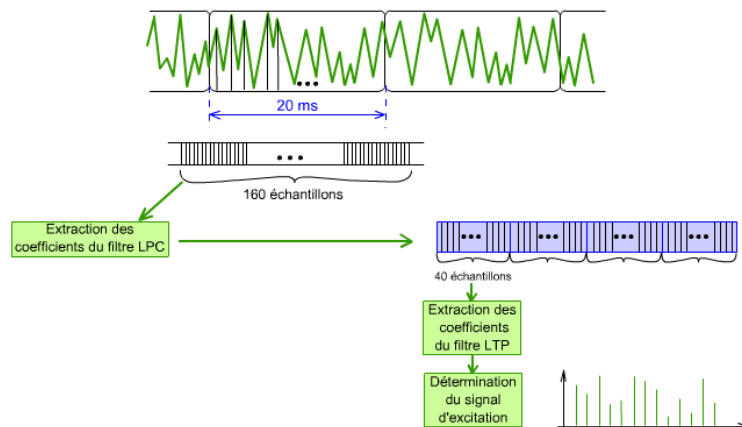
Le signal résiduel est ensuite découpé en quatre sous-trames de 40 échantillons. De chaque sous-trame sont extraits les coefficients du filtre LTP (*Long Term Prediction*).

Ces coefficients doivent être réajustés quatre fois plus souvent, parce que le filtre LTP sert à reconstituer la voix.

La dernière étape consiste à déterminer le signal d'excitation à appliquer à l'entrée du filtre global comprenant les LPC et les LTP afin de reproduire au mieux le signal de parole.

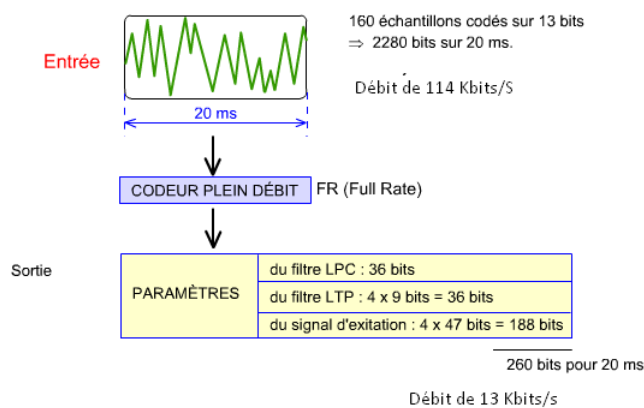
Ce signal est constitué de 13 impulsions dont il faut calculer le positionnement ainsi que l'amplitude.

Le schéma suivant résume ces étapes



Réduction du débit apporté par le codage source

La figure qui suit montre le procédé de réduction de débit : de 114 Kbits/s vers 13 Kbits/s (13 Kbits/s = 260 bits/ 20 ms).



Remarque : ce codage source ne protège pas la donnée, c'est la tâche assurée par la deuxième étape qui est, le codage de canal.

2. Codage des canaux

Cette étape permet d'adapter le signal au canal de transmission, il consiste à ajouter des bits de redondances aux blocs issus de l'étape précédente.

Codes utilisés dans la norme GSM

Deux types de codes sont utilisés dans la norme GSM :

Codes en bloc cycliques : Ils introduisent des bits de parité et permettent seulement de détecter les erreurs.

Codes convolutifs (ou convolutionnels) : Ils introduisent une certaine mémoire et assurent une correction efficace des erreurs.

Code convolutif pour la parole plein débit :

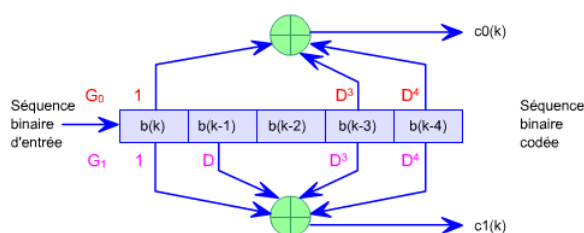
Un codeur convolutif est constituée d'un registre à décalage et de porte "OU exclusif" (additionneurs modulo 2). Il est caractérisé par un polynôme générateurs qui spécifient les entrées des portes "OU exclusif"

Pour la parole plein débit, $G_0 = D^4 + D^3 + 1$

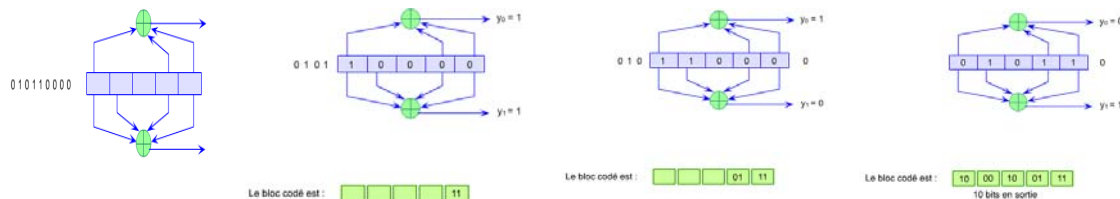
$$G_1 = D^4 + D^3 + D + 1$$

Pour chaque bit $b(k)$ apparaissant en entrée, deux nouveaux bits $c_0(k)$ et $c_1(k)$ sont calculés à partir de la combinaison linéaire des bits de registre.

Le taux du code est de 1/2 (deux bits de sortie pour un bit d'entrée), ce codeur est schématisé comme suit :



Exemple



Du fait que les erreurs ne soient pas réparties de façon équivalente dans le temps, et qu'elles surviennent généralement au début du message, le bloc des 260 bits est découpé, suivant le degré de sensibilité, en 3 parties qui sont :

Classe Ia	50 bits
Classe Ib	132 bits
Classe II	78 bits

Pour raisons de sensibilité élevée aux erreurs de la classe I (Ia + Ib), des mesures conséquentes sont prises pour sa protection :

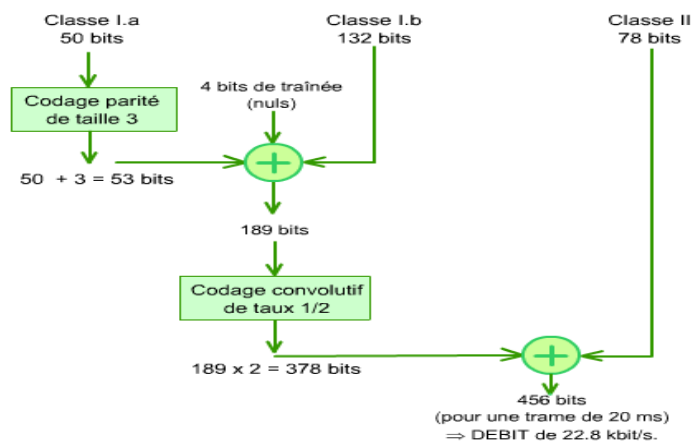
Tout d'abord on protège les 50 bits de la classe Ia. Ces bits sont protégés par un code qui va rajouter 3 bits de parité, ces bits permettront lors du décodage de vérifier qu'aucunes erreurs n'a été faite. En cas d'erreurs on utilisera une technique de masquage, c'est-à-dire on reproduira une version atténuée de la trame précédente.

Les 53 bits résultant sont ensuite regroupés avec les 132 bits de la classe Ib et quatre bits de trainée, ils vont ainsi former un bloc de 189 bits.

Les bits de trainée sont en fait, des bits nuls qui permettront à réinitialiser le codeur.

Le bloc de 189 bits est alors placé en entrée d'un codeur convolutif de taux $\frac{1}{2}$ qui va reproduire deux fois 189 bits, soit 378 bits en sortie.

En fin en rajoutant les 78 bits de moindre importance de la classe II, on obtient le bloc codé constitué de 456 bits pour une trame de 20 ms (ce qui correspond à un débit de 22,8 Kbit/s



3. L'entrelacement et la construction de bursts

Lors de la transmission, les erreurs arrivent sur un groupe de bits consécutifs (par bursts). Le but de l'entrelacement est de séparer les erreurs pour pouvoir les corriger plus facilement.

L'entrelacement va permettre de fragmenter les paquets d'erreurs et rendre leur correction plus facile.

Le principal inconvénient de l'entrelacement est le délai supplémentaire introduit : les contraintes de délai sont sévères pour la parole mais moindres pour les données.

Dans le GSM, chaque canal logique présente un schéma d'entrelacement spécifique. Tous comportent :

- un mélange des bits constituant un bloc codé ;
- une répartition de ces bits sur un certain nombre de bursts.

On réalise un entrelacement de deux périodes consécutives de 20 ms. Pour cela, on divise chaque mot de 456 bits en 8 blocs de 57 bits, on aura donc 8 demi bursts numérotés de 0 à 7.

La première étape de la procédure d'entrelacement consiste à mélanger les 456 bits d'un bloc codé entre eux. Pour cela, les bits sont entrés ligne par ligne dans une matrice à 57 lignes et 8 colonnes. Ils sont ensuite récupérés colonne par colonne afin de former 8 sous-blocs de 57 bits, qui sont numérotés de 0 à 7. Chaque sous-bloc est alors associé à un autre sous-bloc. Plus précisément, les sous-blocs 0, 1, 2 et 3 de la trame de parole courante sont associés avec les sous-blocs 4, 5, 6 et 7 de la trame précédente. De même, les sous-blocs 4, 5, 6 et 7 de la trame de parole courante sont associés aux sous-blocs 0, 1, 2 et 3 de la trame suivante.

Dans la dernière phase, les deux sous-blocs associés sont mélangés à l'intérieur d'un burst. Au fait, il faut intercaler. Les bits pairs du burst sont réservés à l'un des sous-blocs et les bits impairs reçoivent l'autre sous-bloc. Au final, chaque bloc codé de 456 bits, correspondant à une trame de parole de 20 ms, se retrouve étalé sur 8 bursts successifs. La profondeur de l'entrelacement est dite de 8.

Les 2 x 456 bits sont répartis en 8 intervalles de temps (*Time Slot*). Chaque intervalle de temps est constitué par : deux blocs de 57 bits correspondants aux données utiles, une séquence d'apprentissage de 26 bits qui sera utilisée pour compenser certains défauts du canal de transmission et de 16.25 bits d'organisation de trame.

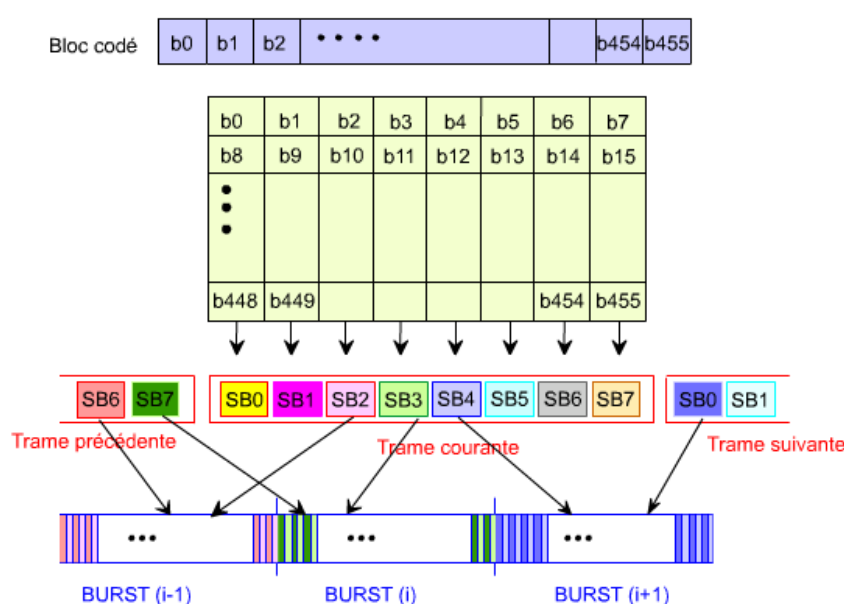


Figure 4 : Organisation de donnée du système GSM

4. Chiffrement ou cryptage

Le chiffrement est une technique de cryptographie appliqué aux trames TDMA pour sécuriser les données ; plusieurs paramètres entrent dans cette phase très importante :

La clé individuelle propre à chaque abonné (clé Ki), la clé de cryptage Kc et de trois algorithmes de cryptages A3, A5 et A8.

Remarque : on parlera plus en détails de ces paramètres dans le chapitre qui suivra "la sécurité dans le GSM".

5. Modulation

La modulation a pour objectif d'adapter le signal à émettre au canal de transmission. Cette opération consiste à modifier un ou plusieurs paramètres d'une onde porteuse $S(t)$ centrée sur la bande de fréquence du canal. Les paramètres modifiables sont l'amplitude, la fréquence et la phase.

La modulation utilisée pour la transmission des données dans les réseaux numériques tels le réseau GSM est la modulation GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*).

L'expression générale d'un signal modulé est la suivante :

$$S(t) = a(t)\cos(\theta(t)) = a(t)\cos(2\pi f_0 t + \phi_0 + \phi(t))$$

f_0 est la porteuse

Dans le GSM, il s'agit d'une des porteuses attribuée à la cellule considérée.

$a(t)$ est l'amplitude.

Dans le GSM, elle dépend de la puissance d'émission maximale de l'équipement et est ajustée conformément au mécanisme de contrôle de puissance. \Rightarrow Modulation à enveloppe constante :

$$|a(t)| = \text{Cte sur un burst (sur une partie utile)}$$

$\phi(t)$ est la phase

Dans le GSM, elle transporte l'information utile, c'est à dire les bits d'un burst.

\Rightarrow Modulation de phase / de fréquence.

La modulation GMSK est une modulation angulaire à enveloppe constante du signal RF (*Radio Frequency*). Dans cette modulation, le signal numérique d'entrée est préfiltré par un filtre gaussien. Si ce filtre est supprimé, on obtiendrait la modulation MSK.

MODULATION MSK

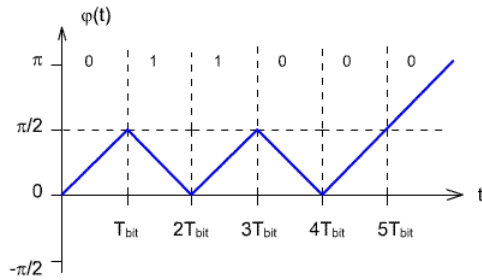
Pendant un temps bit T_{bit} , la phase $\phi(t)$ évolue linéairement avec une pente positive ou négative suivant la valeur du bit :

$$\phi(t) = \pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{Si le bit transmis a la même valeur que le bit précédent}$$

$$\phi(t) = -\pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{Si le bit transmis a une valeur différente}$$

\Rightarrow Décalage en phase de $\pm\pi/2$ sur un temps bit.

Exemple



La fréquence instantanée $f(t)$ de la porteuse est par définition :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_0 t + \phi_0 + \phi(t)]$$

$$f(t) = f_0 \pm 1/4T_{bit}$$

Il s'agit d'une modulation de fréquence (FSK : *Frequency Shift Keying*) caractérisée par :

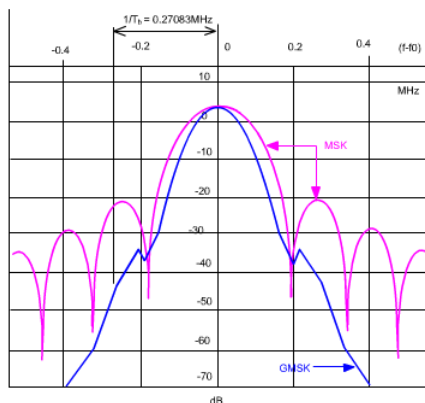
- Une déviation en fréquence par rapport à la porteuse f_0 de $\Delta f = 1/(4T_{bit})$

Ici, $T_{bit} = 3.7 \mu s$ donc $\Delta f = 67.7 kHz$

⇒ Cet écart fréquentiel peut être observé sur le canal FCCH et sert de valeur de référence au calage en fréquence du mobile.

- Une fréquence max du signal modulant $F_{max} = 1/(2T_{bit}) = 135.4 kHz$
- Un indice de modulation $m = \Delta f / F_{max} = 0.5$

⇒ Une modulation FSK d'indice $m=0.5$ est une modulation MSK (correspondant au choix optimal de Δf pour minimiser l'occupation spectrale).



Le spectre MSK présente des lobes secondaires à 25 dB en-dessous de la porteuse. C'est normal, lorsqu'on module une porteuse par un signal binaire, l'encombrement spectral du signal modulé est toujours excessif à cause des fronts du signal binaire (représenté en rose sur la figure).

La forme du signal binaire doit être dégradée par un filtrage passe-bas.

En GSM, on effectue un filtrage passe-bas gaussien avant la modulation MSK. Celui-ci a pour effet de transformer les impulsions carrées du signal binaire en impulsions en forme de "cloche" assez arrondies.

Le spectre GMSK ne présente pratiquement plus de lobes secondaires (représenté en bleu sur la figure ci-dessus).

Gabarit spectral

La norme spécifie des gabarits de spectres relatifs à la puissance d'émission que le signal modulé doit respecter pour les différents matériels. Le gabarit spectral d'un mobile GSM est le suivant :

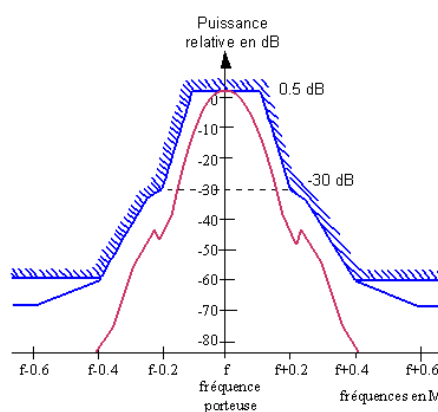


Figure 5

Influence de la modulation sur la planification cellulaire

Pour deux porteuses séparées de 200 KHz, la suppression des spectres des signaux modulés n'est pas négligeable. Deux canaux GSM adjacents présentent donc un niveau élevé d'interférences. La figure (6) montre ce problème de taille

Pour limiter ces interférences, les opérateurs doivent respecter quelques règles pour la planification :

Il est interdit d'utiliser deux canaux adjacents dans une même cellule : on s'impose un écart minimal de 600 KHz entre les porteuses utilisées au sein d'une même cellule (figure 7).

Il faut éviter d'utiliser deux canaux adjacents sur des cellules voisines à cause du recouvrement existant en bordure des cellules pour assurer les transferts intercellulaire (figure 8)

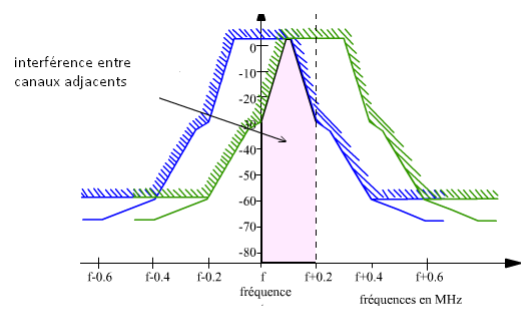


Figure 6

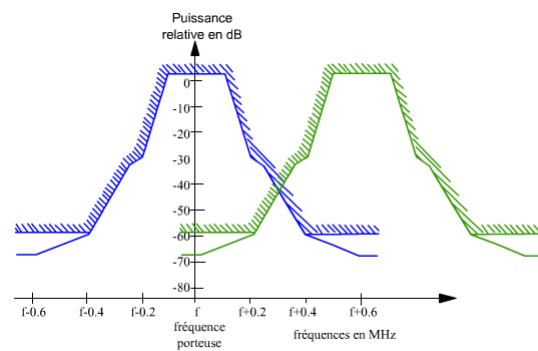
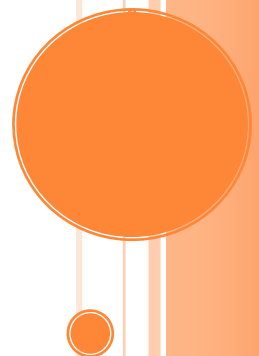


Figure 7

Chapitre IV

LA SÉCURITÉ DANS LE GSM



LA SÉCURITÉ DANS LE GSM

1. INTRODUCTION

Le concept de mobilité, connu aussi sous la non le l'itinérance ou encore le roaming, est né avec l'apparition des réseaux dit, de deuxième génération.

Cette fonction nouvellement introduite exige au système de connaître la localisation d'un abonné d'une manière plus au moins précise (à tout moment si possible), chose qui engendre un trafic important sur l'interface radio. En effet, le mobile doit, en permanence, signaler ses mouvements au système, et cela même en l'absence de la communication usager.

Contrairement aux réseaux fixes, où le numéro du terminal est une adresse physique fixe (prise de téléphone généralement), le numéro du téléphone dans les réseaux de la 2G devient une adresse logique constante à laquelle, on associe une adresse physique qui varie en fonction de la mobilité de l'abonné.

L'interface radio est le lien qui assure la transmission par ondes radioélectriques entre les stations mobile (MS) et les stations de bases (BTS), c'est l'une des parties les plus complexes et les plus vulnérables du réseau GSM. En effet, elle est sujette aux écoutes non autorisées, et aussi à l'utilisation frauduleuse des comptes des abonnés. Pour palier ces problèmes ou du moins les minimiser au maximum, la norme GSM a introduit trois procédés pour assurer la confidentialité et la sécurité dans le réseau :

- Authentification de chaque abonné avant de lui autoriser l'accès à un service
- utilisation d'une identité temporaire
- Chiffrement (ou cryptage) des communications.

Numérotations liées à la mobilité

Du fait de l'importance de la mobilité dans le réseau GSM et des contraintes de sécurité qui la talonne, un certain nombre de numéros lui sont attribués, chacun d'eux ayant une importance capitale dans l'assurance du bon fonctionnement du roaming. On cite les quatre types d'adressage liés à l'abonné :

- IMSI (*International Mobile Station Identity*) : ce numéro est l'identité personnelle de l'abonné, il n'est connu qu'à l'intérieur du réseau GSM, et il doit rester secret. Pour éviter sa transmission sur l'interface Um et donc assurer sa confidentialité, et réduire ainsi les risques de son interception, le GSM a recours au TMSI. Toute fois l'IMSI sert au réseau à la recherche de l'abonné en cas de perte de l'TMSI qui survient à la coupure d'une communication. Il est codé sur 15 bits et comprend trois parties :

1. MCC (*Mobile Country Code*) : indicatif du pays domicile de l'abonné mobile
2. MNC (*Mobile Network Code*) : indicatif du PLMN nominal de l'abonné mobile.
3. MSIN (*Mobile Subscriber Identification Number*) : numéro de l'abonné mobile à l'intérieur du réseau GSM.

Les deux champs MCC et MNC permettent de déterminer, de façon unique dans le monde, le PLMN de l'abonné. Les deux premiers chiffres du champ MSIN donnent l'indicatif du HLR de l'abonné au sein de son PLMN. Les MSC/VLR sont donc capables, à partir d'un IMSI quelconque, d'adresser le HLR de l'abonné correspondant.

- TMSI (*Temporary Mobile Station Identity*) : comme son nom l'indique le TMSI est donc une identité temporaire attribuée au mobile lors de ses échanges radio avec la BTS, il est créé pour éviter la transmission de l'IMSI.

Le TMSI est affecté à l'abonné de façon locale, on le trouve au niveau de la zone gérée par le VLR courant du mobile, il n'est connu que sur la partie MS-MSC/VLR sans jamais être su par le HLR correspondant à la zone.

Un même TMSI peut être utilisé par plusieurs mobiles à la fois, sous condition qu'ils soient gérés par des VLR différents. Quoique son utilisation soit optionnelle, tous les opérateurs en ont recours pour résoudre les problèmes de sécurité précédemment évoqués.

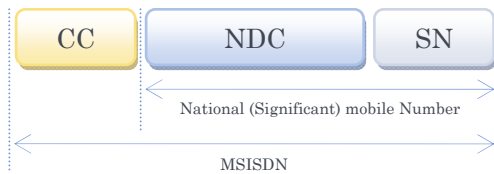
La structure réduite du TMSI (codé seulement sur 4 bits au lieu des 15 bits de l'IMSI), permet de réduire la taille des messages d'appel sur la voie radio, il contribue donc à la bonne gestion des ressources radio très limitées.

- MSISDN (*Mobile Station ISDN*) : contrairement à l'IMSI, le MSISDN n'est pas tenu secret, il est connu à l'extérieur du réseau GSM, il représente tout simplement le numéro d'un abonné GSM.

L'E.164 est un plan de numérotation international, et le MSISDN se conforme tout naturellement à ce plan. Il se constitue de deux champs importants :

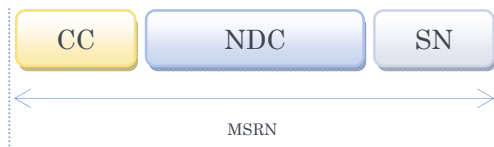
- CC (*Country Code*) : indicatif du pays dans lequel l'abonné a souscrit son abonnement (213 pour l'Algérie, 33 pour la France)
- *National (Significant) mobile Number* : c'est le numéro national du mobile, lui-même divisé en deux parties :
 1. NDC (*National Destination Code*) : utilisé pour la détermination d'un PLMN particulier dans un pays.
 2. SN (*Subscriber Number*) : attribué librement par l'opérateur

La figure ci-après résume ces différents champs :



- **MSRN (Mobile Station Roaming Number)** : est un numéro attribué lors d'un établissement d'appel. Sa principale fonction est de contrôler l'identité IMEI de tout équipement qui désire un service. Il permet le routage des appels entrants directement dans le commutateur passerelle (GMSC) vers le commutateur courant (MSC) de la station mobile (MS). C'est le VLR courant de la station mobile qui l'attribue d'une façon unique et temporaire lors de l'établissement d'un appel vers une station mobile. Tout comme le MSISDN, le MRSN se conforme au plan de numérotation internationale (E-164), et ses champs se résument comme suit :
 1. CC (*Code Country*) : code pays du VLR courant du mobile ;
 2. NDC (*National Destination Code*) : code du PLMN du VLR courant du mobile ;
 3. SN : numéro de l'abonné.

Voici la figure le représentant :



En plus des adressages liés à l'abonné, on a aussi introduit un adressage pour les équipements (terminal, à la dénomination de L'IMEI).

- **IMEI** : codé sur 15 bits, ce numéro représente, l'identité des terminaux. Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau. L'identité d'un terminal contient un numéro d'homologation commun à tous les terminaux d'une même série (*Type Approval Code – TAC*), un numéro identifiant l'usine d'assemblage (*Final Assembly Code – FAC*), un numéro spécifique au terminal (*Serial Number – SNR*) et d'un digit réservé appelé *Spare (SP)*.

La figure ci-dessous, représente les différents champs de l'IMEI ainsi que les nombre de dits sur lesquels ils sont codés.



Figure 1 : Structure d'un IMEI

L'accès au réseau peut être refusé parce que le terminal n'est pas homologué, qu'il perturbe le réseau ou bien parce qu'il a fait objet d'une déclaration de vol.

Ces informations sur l'IMEI sont prises à partir de l'enregistreur des identités des équipements, qui tient une liste blanche des numéros d'homologation, une liste noire des équipements volés et interdits d'accès, et une liste grise des terminaux présentant des dysfonctionnements insuffisants pour justifier une interdiction totale.

Touts ces identités sont utilisées d'une manière ingénieuse lors de la composition d'un appel ; on illustre par ce simple exemple, le fonctionnement et l'interconnexion de ces numéros très particuliers :

Exemple de mise en œuvre des différentes identités d'abonné dans GSM :

On suppose qu'un appelant d'un poste fixe, compose le numéro d'un abonné GSM, tout un processus se met en marche, la figure ci- dessous montre parfaitement les dissemblable étapes qui permette l'aboutissement de l'appel en toute sécurité, nous allons tenter de suivre et d'interpréter ces étapes distinctes :

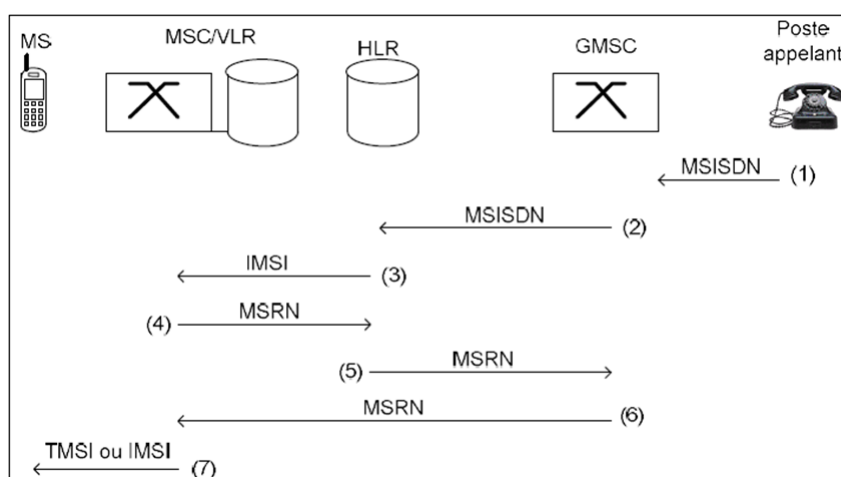


Figure 2 : Échange des différentes identités.

1. Un appelant du réseau fixe, compose le numéro d'un abonné GSM (MSISDN) ;
2. La passerelle GMSC interroge le HLR pour savoir vers quel MSC l'appel doit être aiguillé ;
3. Après avoir traduit le MSISDN en IMSI (en utilisant table de correspondance entre le MSISDN et l'IMSI), le HLR interroge le VLR du mobile en utilisant l'IMSI résultant de la correspondance.
4. Le VLR consacre alors au mobile le MSRN et l'envoie aussi tôt au HLR ;
5. Le MSRN est retransmit au GMSC ;
6. Le GMSC établit l'appel vers le MSC courant du mobile comme un appel téléphonique "normal" vers un abonné dont le numéro est le NISRN ;
7. Le MSC va enfin appeler le mobile en utilisant l'identité temporaire, TMSI qui a été attribuée au mobile lors de la mise a jour de localisation ou lors de l'inscription du mobile.

2. LA SÉCURITÉ DANS LE RÉSEAU GSM

2.1. Confidentialité de l'identité de l'abonné

Comme on l'a vu plus haut, la transmission des informations sur la voie radio, présente l'inconvénient majeur de sa sensibilité au piratage, en conséquent le système met en œuvre des fonctions de confidentialité pour se débarrasser de ce problème contraignant. Les risques encourus par l'échange d'informations sont, que d'une part des personnes disposant de mobile pirates puissent se présenter sur le réseau avec l'identité de l'abonné autorisé et d'autre part, le risque de voir leurs conversations écoutées ! Ces raisons ont emmené les opérateurs à renforcer leur système de sécurité en rajoutant les précautions suivante :

- confidentialité de l'IMSI ;
- authentification d'un abonne pour protéger l'accès aux services ;
- confidentialité des données usager ;
- confidentialité des informations de signalisation.

2.2. Authentification et chiffrement

A. Authentification de l'abonné

L'authentification de l'identité de l'abonné confirme au système que le numéro IMSI, envoyé par la station de base, est exact et valable aussi. Cette procédure d'authentification à recours à certains éléments qui sont :

La clé Ki (valeur unique, connue par la SIM et le HLR), le nombre aléatoire généré par le réseau (RAND) et de trois algorithmes : A3 (fournie la signature SRES à partir des arguments de la clé Ki et du nombre aléatoire RAND), A5 (pour le chiffrement/authentification), A8 (pour la détermination de la clé de chiffrement Kc à partir des arguments d'entrés du RAND et de Ki).

Remarque : ces algorithmes sont les même pour tous les abonné d'un, même réseau GSM.

Le RAND, Kc et le SRES sont regroupés dans un triplet et leur rôle est de plus haute importance, L'utilisation de ces différents éléments pour la mise en œuvre des fonctions de sécurité est schématisée sur la figure ci-dessous :

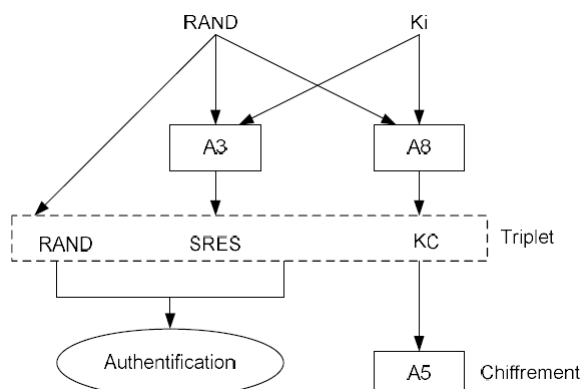
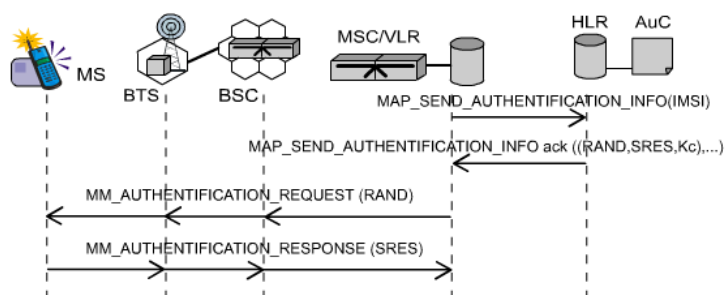


Figure 3 : Utilisation des différents éléments de sécurité dans le GSM

- Le MSC reçoit l'IMSI qui lui vient de la station mobile, dès lors le processus de l'authentification se met en marche ;



- Le MSC/VLR envoie un message contenant l'IMSI au HLR en lui demandant de fournir les triplets (RAND, SRES, Kc).

En utilisant les arguments de RAND et de la Ki, l'algorithme A3 qui se trouve au niveau du HLR/AuC et de la MS permet la détermination de la signature SRES

L'algorithme A8 qui se trouve tout comme l'A3 au niveau de HLR/AuC et de la MS, se charge de la fourniture de la clé de chiffrement Kc (en utilisant les arguments du RAND et de Ki), ainsi on obtient le triplet demandé au sein du HLR.

- Le HLR renvoie le triplet.
- Le MSC transmet le RAND à la station mobile.
- La station mobile calcule la signature SRES, et le résultat obtenu est envoyé par le mobile au MSC/VLR.
- Le MSC/VLR procède à la comparaison des deux résultats, s'il les trouve identiques alors, l'abonné est authentifié. Le schéma qui suit est explicatif.

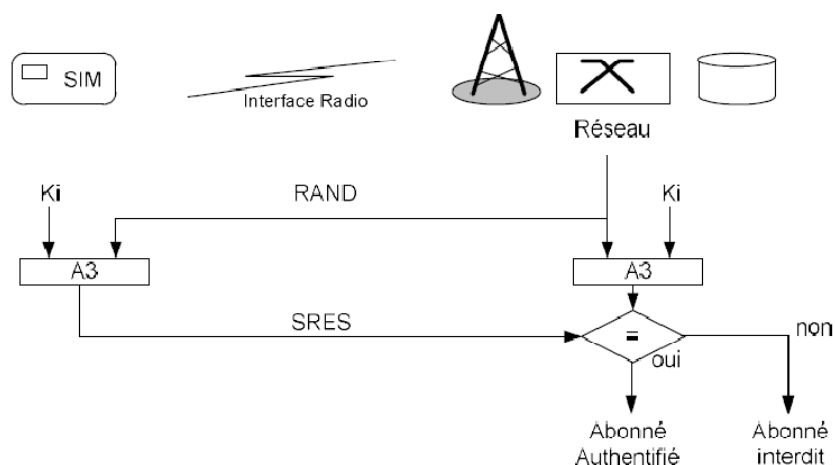


Figure 4 : Déroulement global de la procédure d'authentification

B. Chiffrement de l'information

La confidentialité des informations des usagers, est obtenue grâce au chiffrement de celles-ci. Son but principal est la protection de l'IMSI.

Le chiffrement ne peut être activé que, si et seulement si, l'authentification de l'abonné est un succès.

B.1. Établissement de la clé de chiffrement Kc

Le rôle de la clé de chiffrement Kc, est de crypter les informations sur la voie radio. On l'obtient à l'aide de l'algorithme A8, de l'argument du nombre aléatoire RAND et de la clé individuelle Ki.

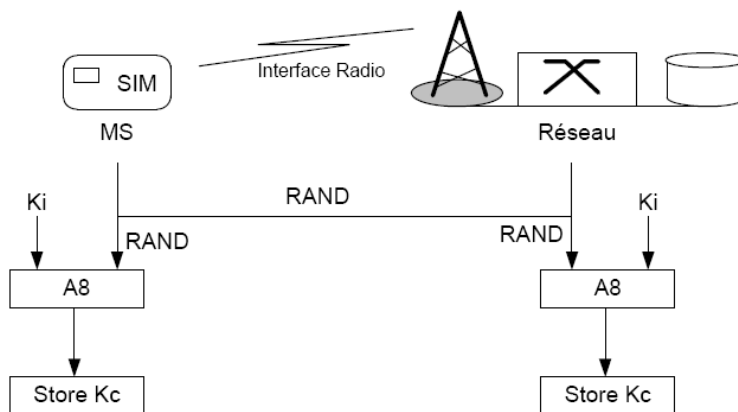


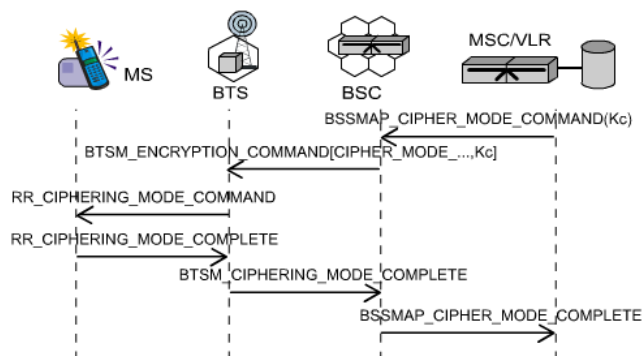
Figure 5 : Établissement de la clé de chiffrement Kc

B.2. Activation du chiffrement

L'algorithme A5 de chiffrement/déchiffrement est implanté dans la BTS.

L'activation se fait sur la demande de la MSC mais le dialogue est géré par la BTS dans la couche RR. Notons simplement que le chiffrement ne peut pas être activé dès les premiers messages mais se fait nécessairement après l'authentification puisque le mobile doit connaître la clé Kc.

On résumé le chiffrement de l'information, suit les étapes ci-après :



- S'assurer que l'authentification de l'abonné est positive ;
- Grâce à l'algorithme A8, on effectue le calcul de la clé de chiffrement Kc à partir des arguments du RAND et de la clé Ki ;
- Une séquence de 114 bits est produite en utilisant la Kc, l'algorithme A5 et le numéro de la trame ;
- Cette séquence est "ou exclusif" avec les deux 2 blocs de 57 bits de données inclus dans une trame normale.

Remarque1 : l'algorithme A5 est utilisé au niveau du récepteur, afin d'assurer le déchiffrement de l'information.

Remarque2 : l'opération de l'authentification et de chiffrement, utilisent les même éléments, à savoir l'argument du RAND et la clé Ki mais diffère au niveau de l'algorithme utilisé (respectivement l'algorithme A3 et l'algorithme A8).

2.3. Entités du réseau où sont enregistrées les données de sécurité

La figure qui vient montre parfaitement l'endroit où les données de sécurité sont stockées :

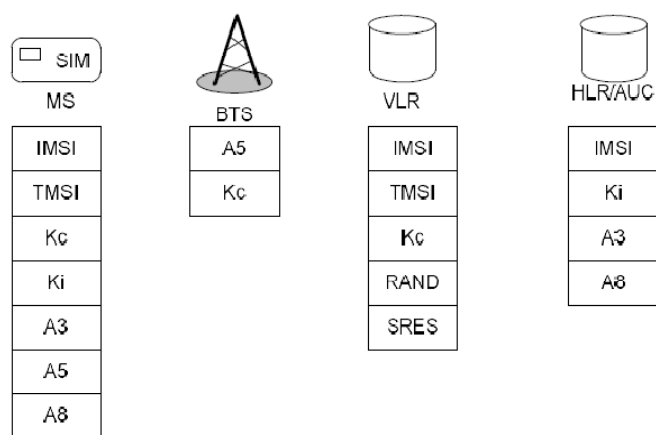


Figure 6 : Sites d'enregistrement des données de sécurité

AuC : le centre d'authentification renferme les identités suivantes :

- l'algorithme d'authentification A3 ;
- l'algorithme de génération de clé de chiffrement A8 ;
- les clés Ki des abonnés du réseau GSM.

HLR : l'enregistreur de localisation nominal, enregistre plusieurs triplets (RAND, SRES, Kc) pour un seul IMSI

VLR : on trouve au niveau du l'enregistreur de localisation des visiteurs :

- Plusieurs triplets (RAND, SRES, Kc) pour un seul IMSI (tout comme le HLR) ;
- Des couples (TMSI ou IMSI, Kc).

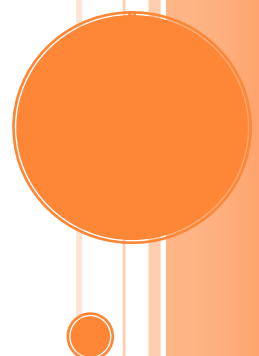
BTS : les stations de bases peuvent stocker l'algorithme de chiffrement A5 pour les données usager et pour les données de signalisation ainsi que la clé de chiffrement Kc.

MS : c'est la carte SIM de la station de base, qui s'en charge du stockage et de la réception des informations qu'elle contient et qui sont :

- l'algorithme de génération des clés de chiffrement A8 ;
- l'algorithme de chiffrement A5 ;
- l'algorithme d'authentification A3 ;
- la clé d'authentification individuelle de l'utilisateur Ki ;
- le numéro international unique de l'abonné GSM (IMSI) ;
- le numéro attribué temporairement à un utilisateur GSM en fonction de sa localisation.

Chapitre V

PRÉSENTATION ET ARCHITECTURE DU GPRS



PRÉSENTATION ET ARCHITECTURE DU GPRS

1. INTRODUCTION AU GPRS

GPRS, acronyme de *General Paquet Radio Services*, est une technologie orientée paquets représentant une "couche" additionnel au réseau GSM existant. Le GPRS n'est donc pas un réseau en lui-même et peut être installé sans aucune licence supplémentaire pour tout opérateur disposant, au préalable, d'un réseau GSM.

Le transport des données sur le réseau GSM n'autorise qu'un débit maximal de 9,6 Kbit/s, ne permettant ainsi que l'utilisation des services WAP basiques et ne pouvant assurer les services multimédias gourmands en bande passante.

Dans le GSM, on monopolise le canal attribué pendant toute la conversation, d'où une facturation à la durée relativement élevée et pas du tout compatible avec le mode de consultation d'Internet supporté par le GPRS. En effet, quand on consulte un service Internet, on n'échange les données que pendant l'envoi de la requête vers le serveur et la réception de l'information demandée, alors qu'on passe le plus de son temps à traiter les informations envoyées par le serveur.

Ce sont les raisons pour lesquelles la technologie GPRS a été développée, résolvant d'emblée le problème de monopolisation des canaux, de surfacturation et permettant des débits bien plus importants.

1.1. Débit théorique

Le débit maximum théorique du GPRS est de 171.2 Kbits/s. Cependant, ce débit varie selon le type de codage canal et le nombre de time-slots radio utilisés (intervalle de temps alloué à une porteuse). Le débit maximum théorique correspond à un débit obtenu en utilisant 8 time-slots (trame TDMA) et un schéma de codage CS-4 offrant la moins bonne protection. En pratique, les terminaux gèrent 4 slots en réception / 2 slots en émission et le schéma de codage est du type CS-2 offrant une bonne protection, le débit réel descendant atteint est donc de l'ordre de 54 Kbits/s. Pour mémoire, le débit offert par le GSM est de 9,6 Kbits/s.

1.2. Types de codage

Afin d'acheminer le trafic GPRS, de nouveaux schémas de codage (CS – *Coding Scheme*) ont été définis et normalisés. À chacun correspond un débit donné. La norme GPRS prévoit de faire passer dans chaque IT réservé à une session GPRS un débit de données variant de 9,05 kbit/s (en CS-1) à 21,4 kbit/s (CS-4).

L'importance du débit est en opposition avec sa résistance aux erreurs. Ce qui explique la différence de débits entre l'interface Air et le débit réel obtenu. Ce dernier est égal au débit théorique auquel on retranche le débit induit par les en-têtes des couches protocolaires.

	CS1	CS2	CS3	CS4
1 slot	9,05 Kbits/s	13,4 Kbits/s	15,6 Kbits/s	21,4 Kbits/s
8 slots	72,4 Kbits/s	107,2 Kbits/s	124,8 Kbits/s	171,2 Kbits/s
Débit utilisable	6,8 Kbits/s	10,4 Kbits/s	11,7 Kbits/s	16,0 Kbits/s

Tableau 1 : Comparatif entre les différents types de codage

1.3. Zone de couverture

Zones couvertes par le réseau GSM, bénéficiant des modifications nécessaires pour l'utilisation du GPRS.

1.4. Bandes de fréquences utilisées

Le GPRS use des mêmes fréquences attribuées par l'UIT (Union Internationale des Télécommunications) que la norme GSM. En conséquence, le GPRS se voit utiliser les deux bandes de fréquences montantes et descendantes, qui sont :

	Montante	Descendante
GSM	890 MHz – 915 MHz	935 MHz – 960 MHz
DSC1800	1710 MHz – 1785 MHz	1895 MHz – 1880 MHz

1.5. Connexion permanente

Alors que le GSM fonctionne en mode circuit (aussi appelé mode "connecté"), le GPRS utilise une connexion virtuelle. En mode "virtuel", les ressources sont partagées. L'IT 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 temps d'établissement d'une session GPRS et l'accès au service est plus court qu'avec le GSM. Une session étant établie pour transférer et recevoir des données. Si l'utilisateur dispose d'une adresse IP statique, il est aussi possible de notifier la station mobile de l'arrivée de paquets (Push) afin qu'elle puisse ouvrir une session GPRS et recevoir les données.

1.6. Facturation au volume ou au contenu

Ne monopolisant pas les canaux, mais ne disposant d'eux qu'au moment de l'activité de l'utilisateur, le GPRS permet une facturation dépendant seulement du volume des données transférées ou de la nature du contenu de ces données (exemple : images, sons, vidéo, etc.), au lieu d'une la facturation à la durée utilisée par le GSM (expliquée par la monopolisation des canaux).

1.7. Intégrité du transfert

GPRS améliore l'intégrité du transfert de données à travers plusieurs mécanismes. D'abord, les données de l'utilisateur sont encodées avec des redondances afin d'améliorer la résistance aux mauvaises conditions radio. Cette redondance est plus ou moins importante en fonction de la qualité de l'interface radio. GPRS définit quatre scénarii de codage, CS1 à CS4. Initialement, seuls CS-1 et CS-2 seront supportés, permettant un débit de 9 et 14 kbit/s par IT. Si une erreur est détectée sur une trame reçue dans la BSS, la trame est retransmise jusqu'à ce qu'elle soit reçue sans erreur pour être transférée sur le sous-système réseau GPRS.

1.8. Mécanismes de sécurité sophistiqués

Le GPRS utilisant l'infrastructure du réseau GSM, profite aussi de ses procédés de sécurité. En effet, le modèle d'authentification et de chiffrement est repris par le GPRS. Lors de l'initiation d'une session GPRS, la station est authentifiée grâce à des clés et des calculs réalisés par la carte SIM et l'AuC, tout comme le GSM. Mais l'accès à Internet et autres réseaux de données impose un autre modèle de sécurisation utilisant le protocole RADIUS (*Remote Authentication Dial In User Service*).

GPRS assure par ailleurs le chiffrement des données de l'utilisateur entre la station mobile et le sous-système réseau GPRS alors que dans le réseau GSM, le chiffrement est assuré entre la station mobile et l'entité BTS.

1.9. Services

Le GPRS propose multiples services, dont la connexion à Internet sans numérotation (le périphérique étant en effet toujours connecté au réseau de l'opérateur, et lui-même connecté à Internet), l'envoi ou la réception de fichiers multimédia (image, son et vidéo), l'usage des groupes de discussion, l'accès au réseau Intranet ou encore le partage des données et la télémétrie.

Avec l'augmentation du taux de transfert, de nouvelles applications et services vont peu à peu apparaître. Exigeant des bandes passantes de plus en plus larges, les usagers de plus en plus avides de nouveautés technologiques et de nouveaux concepts leur permettant de profiter au maximum de leurs terminaux, cette émergence de services induira une évolution vers l'UMTS.

1.10. Classes de mobiles GPRS

Dans la norme GPRS, on distingue trois classes de mobiles sont à distinguer.

- Mobile de classe A, pouvant être déclaré simultanément sur les deux réseaux (GPRS et GSM) et être en communication sur le service GPRS en mode paquet et sur d'autres services GSM en mode circuit.
- Mobile de classe B, pouvant être déclaré sur GPRS et GSM et écouter les deux signalisations au même temps, mais ne pouvant profiter des deux services proposés simultanément ; un choix doit être fait.

- Mobile de classe C, ne pouvant être rattaché qu'à l'un des deux réseaux, et donc, n'écouter qu'une seule signalisation à la fois.

1.11. GPRS, passage oblige vers l'UMTS

L'UMTS, voulant offrir des débits plus importants, devra utiliser de plus hautes fréquences que ses prédécesseurs. Ce qui induira une révision de l'ensemble du système GSM, entre autre, une immense diminution du diamètre des cellules, passant ainsi d'une trentaine de kilomètres à seulement une cinquantaine de mètres. Les tests pilotes du GPRS prévoyaient des diamètres ne dépassant pas le kilomètre, ce qui constitue un énorme pas vers la révolution 3G. Les nœuds GPRS étant ainsi réutilisés pour la migration vers l'UMTS.

Cette densité grandissante des cellules contraindra les utilisateurs à adopter de nouvelles habitudes. Entre autres, à sacrifier la mobilité en faveur d'un plus grand taux de transfert. En effet, pour avoir un maximum de débit, ils devront évoluer au sein de la zone d'action d'une même cellule (50 mètres).

1.12. Changements apportés au GSM

Des changements superficiels furent apportés au GSM afin d'y intégrer la structure GPRS.

L'introduction du GPRS dans un réseau GSM à commutation de circuit a nécessité une mise à jour logicielle des équipements du sous-système radio, cette mise à jour logicielle consistant à rajouter des PCU (*Paquet Control Unit*) au niveau des BSC. Elle nécessite aussi la mise en place de nouveaux nœuds de services ; SGSN (*Serving GPRS Support Node*) et le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), au sein de l'infrastructure des opérateurs de téléphonie mobile, en plus d'une CGF (*Charging Gateway Function*) pour la taxation GPRS et d'un OMC-G (*Operations and Maintenance Center – GPRS*) pour l'exploitation des équipements de réseau GPRS.

La gestion des abonnés GPRS pourra utiliser les HLR GSM existants. Les HLR sont visibles de tous les SGSN du réseau GPRS.

De plus, les mobiles doivent s'adapter à la technologie GPRS. Pour accéder au réseau GPRS, le terminal mobile doit s'attacher à ce dernier par une procédure appelée *GPRS Attach*. Cette procédure établit un lien logique entre le terminal mobile et le nœud de service SGSN. À titre d'information, les premiers mobiles intégrant la norme GPRS sont apparus au premier semestre de l'an 2000.

2.1. Nouveau terminal mobile

Pour pouvoir bénéficier pleinement des services offerts par le GPRS, de nouveaux terminaux plus sophistiqués ont vu le jour. Avec des mobiles GSM, l'utilisateur pouvait transmettre des données en mode circuit mais avec un très bas débit. Dans le cas du transfert de données en mode paquets, le terminal mobile ne sert que d'interface d'accès à un réseau de paquets (GPRS) et peut être relié à un ordinateur portable, par exemple, qui lui fournira alors les données à transmettre.

2.2. Classe multislot

Indépendamment des classes de terminaux (A, B, C), la classe multislot d'une station mobile GPRS est l'un des facteurs différenciateurs. Elle détermine aussi le nombre maximal d'IT que la station mobile peut utiliser. Trois paramètres peuvent les différencier :

- **TX** : Indique le nombre maximal d'IT que peut utiliser la station mobile dans le sens montant dans une trame TDMA ;
- **RX** : Indique le nombre maximal d'IT que peut utiliser la station mobile dans le sens descendant dans une trame TDMA ;
- **Somme** : Indique le nombre maximal d'IT que peut utiliser la station dans les deux sens simultanément dans une trame TDMA ;

2.3. Le réseau fédérateur du GPRS (*Backbone*)

Pour réaliser un transfert de bout en bout en mode paquets, le NSS (*Network Switching Sub-system*) de GSM ne pouvait pas être conservé. Ainsi, un nouveau réseau est né entre le BSS et le PLMN (*Public Land Mobile Network*) : le réseau fédérateur GPRS. Ce nouveau réseau est constitué de 2 nouvelles entités – le SGSN et le GGSN – et des routeurs IP éventuels les reliant, formant un réseau parallèle au NSS de GSM. On distingue deux types de réseaux fédérateurs :

- Intra-PLMN : réseau IP appartenant à un opérateur permettant de relier les GSN de son réseau GPRS ;
- Inter-PLMN : Il s'agit d'un réseau qui connecte les GSN de différents opérateurs de réseau GPRS. Il est mis en œuvre s'il existe un accord de roaming entre deux opérateurs de réseau GPRS.

2.4. SGSN

Le SGSN (*Service GPRS Support Node*) est relié par des liens *Frame Relay* aux BSC du sous-système radio (BSS) de GSM et se charge dans son aire de service des transmissions de données entre les stations mobiles et le réseau mobile. Le SGSN est connecté à plusieurs BSC et présent dans le site d'un MSC.

RÔLE DU SGSN

- Authentifie les stations mobiles GPRS ;
- Prend en charge l'enregistrement des stations mobile au réseau GPRS (attachement) ;

- Prend en charge la gestion de la mobilité des stations mobiles. En effet, une station mobile doit mettre à jour sa localisation à chaque changement de zone de routage ;
- Établit, maintient et libère les contextes PDP, qui correspondent à des sessions de données permettant à la station mobile d'émettre et de recevoir des données ;
- Relais les paquets de données de la station mobile au réseau externe ou du réseau à la station mobile ;
- Collecte les données de taxation de l'interface air ;
- S'interface à d'autres nœuds (HLR, MSC, BSC, SMSC, GGSN, Charging Gateway).

2.5. GGSN

Le GGSN (*Gateway GPRS Support Node*) sert de passerelle entre les SGSN du réseau GPRS et les autres réseaux de données (X.25, IP). Il permet aux paquets issus de réseaux PDP externes d'être acheminés vers le SGSN de leur destinataire ou de router les paquets issus du réseau GPRS auquel il appartient vers le réseau extérieur adéquat. Le GGSN est généralement présent dans le site d'un MSC. Il existe un seul GGSN ou un nombre faible de GGSN par opérateur.

RÔLE DU GGSN

- Joue le rôle d'interface aux réseaux externes de type IP ou X.25 même si en pratique seule l'interface vers des réseaux IP est mise en œuvre ;
- Ressemble à un routeur. D'ailleurs dans de nombreuses implantations, il s'agit d'un routeur IP avec des fonctionnalités supplémentaires ;
- Relais les paquets aux stations mobiles à travers un SGSN ; Il faut noter que les paquets ne sont pas délivrés à la station mobile si cette dernière n'a pas activé un contexte PDP ;
- Route les paquets émis par la station mobile à la destination appropriée ;
- Filtre le trafic usager ;
- Collecte les données de taxation associées à l'usage des ressources entre SGSN et GGSN ;
- S'interface à d'autres nœuds (SGSN, HLR, Charging Gateway).

2.5. PCU

L'unité de contrôle de paquets (PCU – *Packet Control Unit*) est rajoutée à la BSC (après une mise à jour logicielle) pour permettre le partage des ressources et la retransmission des données erronées.

2.6. CGF

La *Charging Gateway Function*, ou passerelle de taxation, permet le transfert des informations de taxation du SGSN et du GGSN au système de facturation (BS – *Billing System*).

La CGF peut être introduite de deux façons distinctes. Soit intégrée sur les nœuds SGSN et GGSN, soit de manière centralisée.

2.7. Les interfaces du GPRS

Il existe de nombreuses interfaces permettant aux SGSN et GGSN de fonctionner avec les entités GSM existantes.

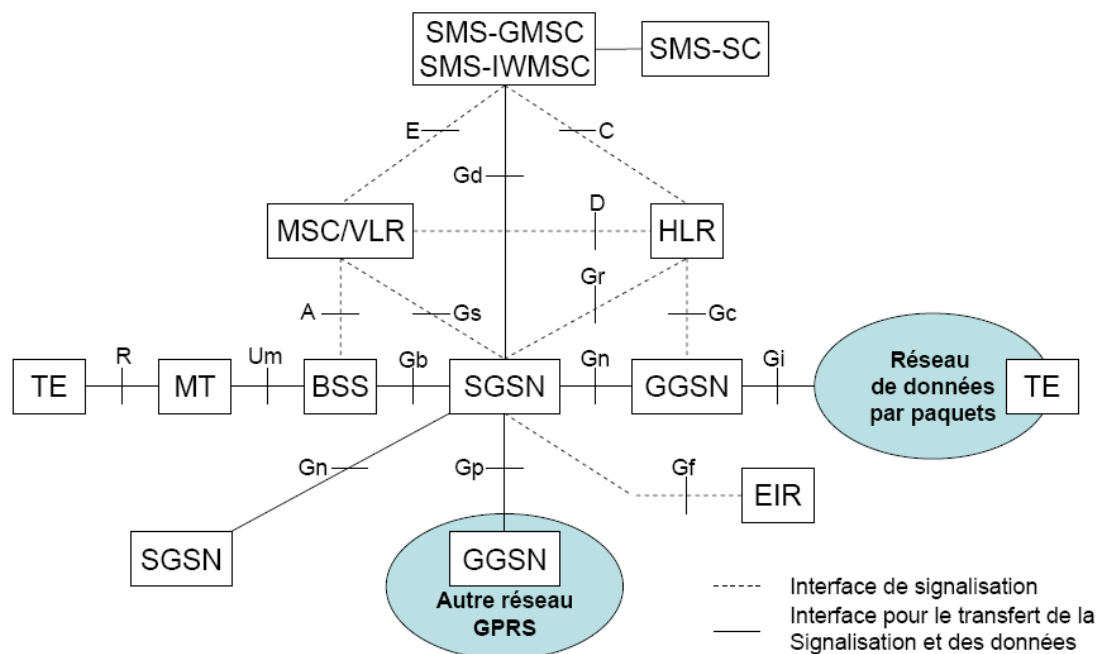


Figure 2 : Interfaces du réseau GPRS

- **Gb** : L'interface Gb connecte le SGSN et le BSS (*Base Station Sub-system*). Il s'agit d'un service de transport Frame Relay sur lequel s'appuient les protocoles de signalisation radio GPRS.
- **Gr** : L'interface Gr est une interface entre le SGSN et le HLR. Elle est utilisée lorsque le SGSN contacte le HLR afin d'obtenir des données de souscription d'utilisateurs GPRS.
- **Gd** : L'interface Gd est une interface entre le SGSN et le SMSC afin d'assurer la livraison de SMS d'un utilisateur GPRS.
- **Gs** : L'interface Gs est une interface entre le SGSN et le MSC/VLR permettant l'attachement ou la mise à jour de localisation combinée GSM et GPRS.
- **Gf** : L'interface Gf existe entre le SGSN et l'EIR. Elle permet de vérifier l'authenticité de l'équipement mobile auprès de l'EIR.
- **Gn** : L'Interface Gn est l'interface de base dans le backbone GPRS et est utilisée entre les GSNs. Le protocole utilisé sur cette interface est GTP (*GPRS Tunneling Protocol*) qui s'appuie sur un transport TCP/IP ou UDP/IP. Il s'agit d'un protocole de contrôle (pour l'établissement, le maintien et la libération de tunnels entre GSN), et de transfert des données d'utilisateur.
- **Gc** : L'interface Gc est une interface entre le GGSN et le HLR dans le cas d'une activation d'un contexte PDP initié par le GGSN. Le GGSN utilise

cette interface pour interroger le HLR et identifier ainsi l'adresse IP du SGSN auquel est rattachée la station mobile.

- **Gp** : L'interface Gp connecte un GSN à d'autres GSN de différents PLMNs. Elle sert notamment pour le transfert des données concernant un usager GPRS en roaming international. Le protocole utilisé sur cette interface est le protocole GTP.
- **Gi** : L'interface Gi connecte le PLMN avec des réseaux de données externes. Dans le standard GPRS, les interfaces aux réseaux IP (IPv4 et IPv6) et X.25 sont supportées. En pratique, il s'agit principalement d'une interface vers des réseaux externes IP.
- **Ga** : L'interface Ga connecte un SGSN ou un GGSN à une entité CGF. Elle sert pour le transfert de tickets de taxation des nœuds GSN à l'entité CGF. Le protocole utilisé sur cette interface est GTP' en utilisant un transport TCP/IP ou UDP/IP.

3. LES CANAUX DANS LE GPRS

Tout comme dans le GSM, on définit deux canaux, physiques et logiques.

Un canal physique transporte une supertrame de 52 trames TDMA de 240 ms et 2 canaux physiques sont nécessaires pour échanger des données (en plus des canaux de signalisation) : un pour la liaison montante et l'autre pour la descendante. Cette supertrame se décompose en 12 blocs de 4 slots. Chaque bloc peut supporter un canal logique GPRS différent des blocs précédent ou suivant. Les 4 slots de chaque bloc accueillent les 4 bursts issus du codage convolutif de la couche physique tout comme dans GSM.

Un canal physique est configuré soit pour GSM-circuit soit pour GPRS. En mode GSM-circuit, chaque utilisateur se voit allouer un canal logique pour émettre ou recevoir un appel. Un canal logique est constitué de la répétition périodique d'un slot d'une trame TDMA.

En mode GPRS, les utilisateurs n'ont pas besoin d'une liaison permanente car ce service fonctionne en mode paquet ; les ressources nécessaires peuvent donc être attribuées dynamiquement en fonction de la demande et de la charge du réseau (avec GSM, cette affectation est configurable mais statique). Ainsi un mobile peut émettre simultanément sur un certain nombre (variable en temps-réel) de canaux physiques.

Un canal physique PDCH peut être configuré soit en maître, soit en esclave, son contenu détermine son statut :

Maître, si le canal PDCH contient des canaux logiques de contrôle commun PCCCH (*Packet Common Control CHannel*). Un canal PDCH maître peut aussi contenir des canaux PDTCH, PACCH ou PTCCH.

Esclave, si le PDCH ne transporte pas de canaux PCCCH et dans ce cas le canal PDCH peut rapidement être reconfiguré en canal GSM-circuit. Un canal PDCH

esclave transporte des canaux logiques dont la nature (PDTCH, PACCH...) ne sera déterminée en réception qu'en décodant le bloc (de 4 slots) et en interprétant l'en-tête MAC/RLC. Cette optimisation a permis d'accroître le débit de transport des paquets.

Canal de trafic	Données utilisateurs PDTCH jusqu'à 170 kbit/s	
Canaux de contrôle	Diffusion	PTCCH = avance temporelle pour un groupe de mobiles
	Contrôle commun PCCCH	PPCH = appel du mobile
		PRACH = accès aléatoire
		PAGCH = allocation de ressource
		PBCCH = messages courts diffusés (broadcast)
	Contrôle dédié (associé)	PNCH = appel de groupe (multicast)
		PACCH = acquittements, contrôle de puissance, indication des futurs PDTCH alloués

Tableau 3 : Table des canaux logiques GPRS

REMARQUE : Les noms des canaux logiques communs à GSM, appelés canaux de contrôle commun, ont été conservés en leur ajoutant le préfixe P (*Packet*).

3.1. Construction de burst dans le GPRS

Pour transmettre des paquets sur le canal radio, le terminal GSM (fonctionnant en mode GPRS) doit les "transformer" en bursts qui seront multiplexés sur des canaux physiques PDCH (Packet Data Channel). Nous décrirons ici cette transformation :

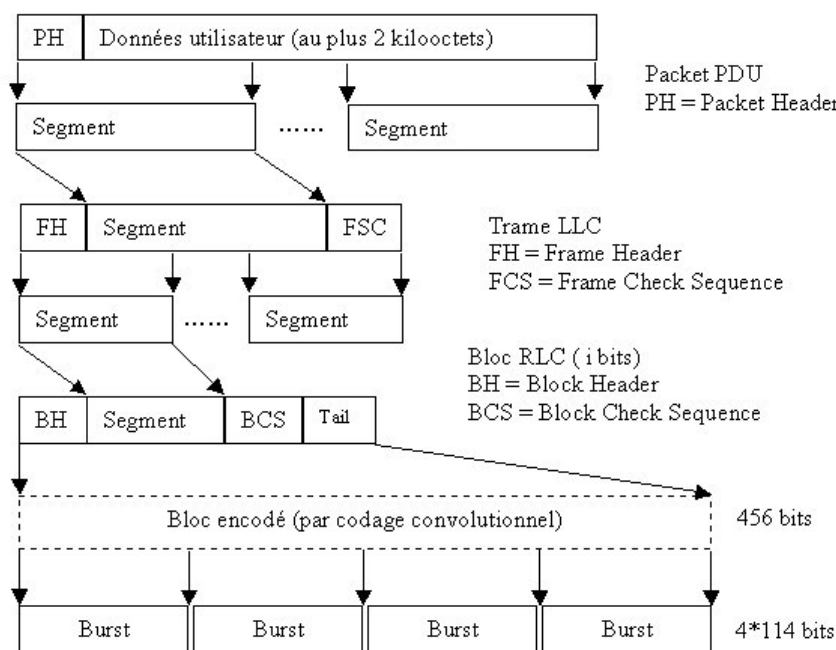


Figure 3 : Transformation des paquets en bursts

La couche réseau (IP ou X.25) fournit un paquet (en-tête et données) à la couche inférieure SNDCP via l'interface NSAPI qui comprime le paquet.

La couche SNDCP segmente le paquet comprimé et ajoute un en-tête à chaque segment. Les segments obtenus ne doivent pas dépasser les 1200 octets et sont fournis à la couche LLC via l'interface SAPI.

La couche LLC ajoute un en-tête FH et un contrôle d'erreur FCS à chaque segment puis transmet les trames LLC ainsi formées à la couche RLC/MAC.

La couche RLC/MAC découpe chaque trame reçue en blocs après avoir ajouté un en-tête BH et un contrôle BCS + Tail (bits de traînée) à chaque morceau, puis transmet les blocs à la couche physique.

La couche physique réalise alors, pour chaque bloc, un codage de canal CS-1 à CS-4 afin de réaliser des blocs encodés de longueur fixée à 456 bits (c'est-à-dire 4 bursts de 114 bits) qui doivent être placés dans des trames TDMA successives.

3.2. Codage du canal dans le GPRS

La couche physique se subdivise en 2 sous-couches :

La RFL est la couche la plus basse de la pile de protocoles et est responsable de la modulation et la démodulation : c'est le modem du terminal ;

La PLL fait le lien entre la couche MAC (qui gère la signalisation pour accéder au canal radio et qui dérive de l'Aloha discrétisé) et le modem (RFL). Elle assure les fonctions suivantes :

- détecter et corriger les erreurs en transmettant les mots de code et en signalant quand ceux-ci sont incorrects : c'est le codage convolutif ;
- choisir le mode de codage (CS-1 à CS-4) et placer les bursts dans des trames TDMA consécutives ;
- détecter la congestion sur le canal.

3.3. Fonctionnement du GPRS

On essaie d'illustrer les deux cas de figure d'accès au réseau GPRS.

Cas premier : la station mobile sollicite le réseau.

Si le mobile veut effectuer un transfert de données vers le réseau, il commence par effectuer sa demande sur le PRACH, le réseau lui répond sur le PAGCH et le transfert peut débuter. Le mobile, transfère ses données sur les PDTCH jusqu'à ce que toutes soient transférées. Le réseau lui envoie un message d'acquiescement, signifiant ainsi la fin de la tâche.

Dans le cas où le transfert est rompu pour une raison ou une autre, le réseau, après un certain délai d'attente, envoie un message au mobile sur le canal PACCH, lui demandant par la même de renvoyer les informations manquantes.

La figure ci-après, expose ce cas de figure.

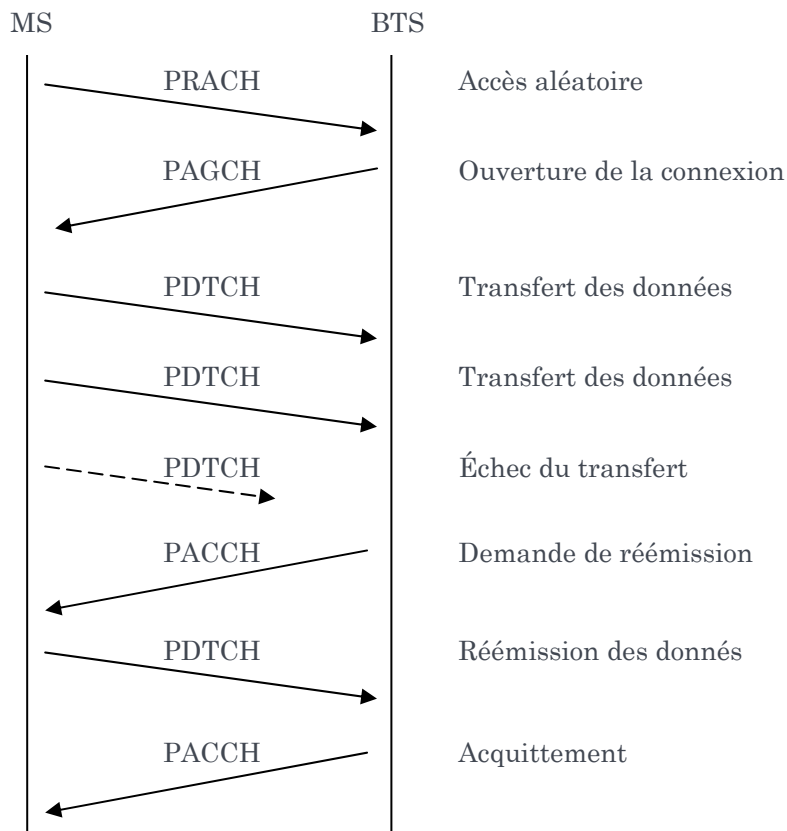


Figure 4 : Connexion MS > Réseau GPRS

Cas second : le réseau sollicite la station mobile.

Quand le réseau désire transférer des données vers la station mobile, il commence par émettre un appel sur le canal PPCH pour connaître l'état du mobile. Si celui-ci est activé, il lui répond sur le PRACH et c'est là que le réseau peut demander le transfert sur le PRACH. La réponse lui est renvoyée par le mobile sur le PACCH. Dès lors, un canal de transfert peut être ouvert (PDTCH). Une fois le transfert terminé, un message d'acquiescement est envoyé au réseau sur le PACCH.

Dans le cas où le transfert est rompu pour une raison ou une autre, le mobile, après un certain délai d'attente, envoie un message au réseau sur le canal PACCH, lui demandant par la même de renvoyer les informations manquantes.

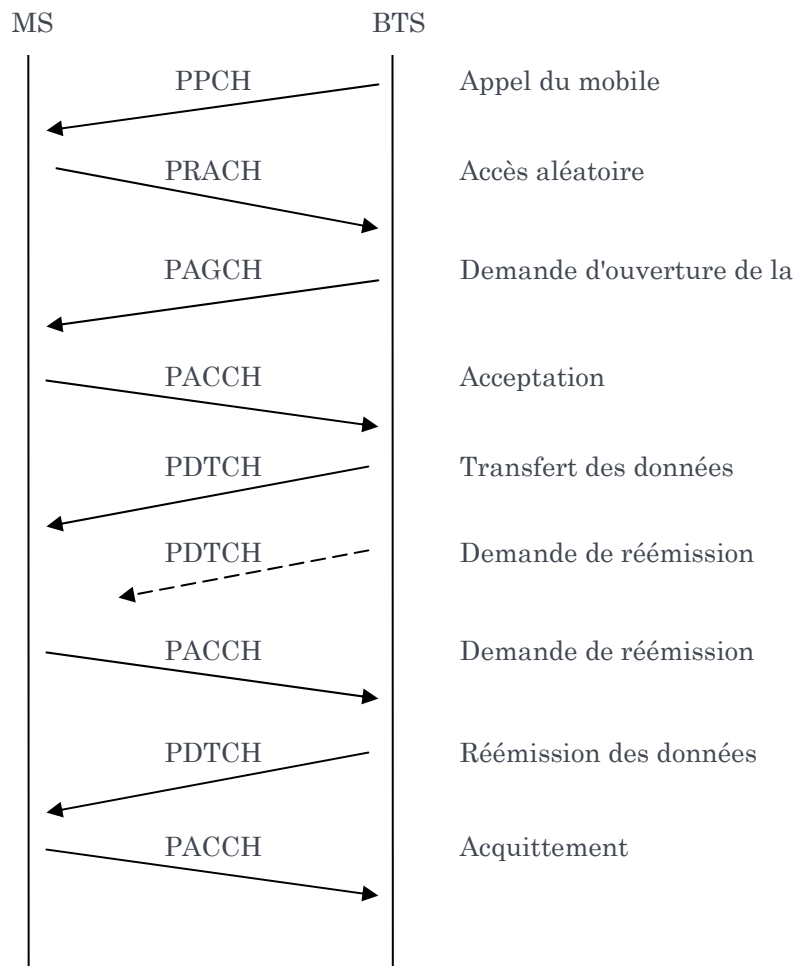


Figure 5 : Connexion réseau GPRS > MS

4. EXEMPLES DE CONNEXION AVEC GPRS

4.1. CONNEXION D'UN TERMINAL FIXE, RELIÉ AU RÉSEAU IP, À UN TERMINAL MOBILE

Lorsqu'un terminal fixe d'un réseau de données PDP transmet un datagramme IP vers un abonné mobile MS, celui-ci est routé vers le GGSN du réseau fédérateur de l'abonné. Si l'abonné se trouve relié à l'un des SGSN de ce réseau, un tunnel est établi entre le GGSN (relié au réseau) PDP et le SGSN (relié à l'abonné) : c'est le cas du MS A (Figure 1).

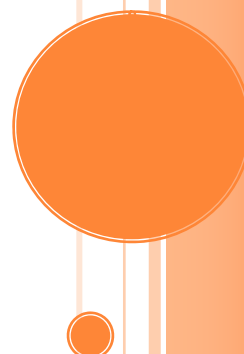
En cas d'itinérance de l'abonné vers un autre réseau fédérateur (relié au réseau fédérateur de l'abonné par un réseau inter-opérateur backbone), le datagramme IP est routé vers le SGSN du réseau fédérateur visité (sur lequel l'abonné est relié) : c'est le cas du MS B (Figure 1). Une fois encore un tunnel est établi entre GGSN et SGSN. Le tunnel permet au réseau fédérateur visité de ne pas avoir à gérer la mobilité de l'abonné.

4.2. CONNEXION D'UN TERMINAL MOBILE VERS UN TERMINAL FIXE RELIÉ AU RÉSEAU IP

Lorsqu'un terminal mobile MS B (Figure 1) souhaite transmettre un datagramme IP vers un terminal fixe, un tunnel est établi entre le SGSN auquel est relié l'abonné et le GGSN auquel est relié le réseau PDP du terminal fixe.

Chapitre VI

PLANIFICATION CELLULAIRE



PLANIFICATION CELLULAIRE

I. INTRODUCTION

On a pour but dans cette partie de planifier un petit réseau GSM optimal. Pour cela, on prendra en considération trois critères fondamentaux : une couverture optimale, la capacité du réseau et la qualité du système.

Pour ce fait, on prendra en considération les équipements utilisés, la nature du relief de la région étudiée et la philosophie adoptée pour avoir une bonne couverture permettant de satisfaire une capacité et une qualité de signal nominale.

II. PRÉSENTATION DE L'ÉQUIPEMENT

1. RBS2000

RBS 2000 est la seconde génération de BTS d'Ericsson pour le réseau GSM. Six différents types de RBS sont disponibles :

- ◆ RBS 2101 (2 TRU outdoor cabinet) ;
- ◆ RBS 2102 (6 TRU outdoor cabinet) ;
- ◆ RBS 2202 (6 TRU indoor cabinet) ;
- ◆ RBS 2302 (2 TRU micro BTS) ;
- ◆ RBS 2401 (2 TRX indoor base station) ;
- ◆ RBS 2206 (12 TRU indoor cabinet) ;

Le type de RBS est défini par la capacité maximale qu'on peut avoir. Elle est liée au type de CDU qu'elle supporte. La CDU contrôle le nombre de TRX qu'on peut utiliser pour une cellule.

Pour les RBS 2101, 2102 et 2202, les unités fonctionnelles comme les combiner sont inclus dans une CDU (*Combining and Distribution Unit*). Il existe trois différents types de CDU, le type A, le type C+ et le type D, ayant différentes caractéristiques.

Lors de la sélection de la CDU, trois alternatives existent. Les antennes ci-prises en comptes sont à polarisation croisée.

- *Portée maximale (CDU-A) :*

Conçue pour maximiser la puissance en sortie et peut être utilisée conjointement avec un TMA (*Tower Mounted Amplifier*). Avec cette alternative, jusqu'à deux TRU peuvent être connectés sur une seule antenne dans une cellule et est donc configurable pour 6 TRU (ayant 3 antennes par cellule).

- **Standard (CDU-C+) :**

Contient un "combiner" hybride, qui permet de connecter 4 TRU à une antenne et est donc configurable pour 12 TRU (ayant 3 antennes par cellule). Il en existe deux versions, une pour le GSM standard et une autre pour l'EGSM.

- **Haute capacité (CDU-D) :**

Contient un *filter combiner*, qui rend possible la connexion de 12 TRU à une antenne.

Il existe une autre alternative, "Smart Range", qui permet de combiner une CDU-A et une CDU-C+ dans une même cellule. Cette solution associe donc une plus grande couverture à une grande capacité et permet de connecter 6 TRU par cellule en utilisant deux antennes.

Pour la RBS 2206, il existe deux différents types de CDU, F et G. Tout deux avec différentes caractéristiques et la possibilité d'être utilisé avec un TMA. Ces deux types de CDU rendent possible une configuration 3x4 en un "cabinet". Les antennes prises en compte sont à polarisation croisée.

- **CDU-F :**

Contient un *filter combiner*, permettant de connecter jusqu'à 12 TRU sur une antenne de cellule.

- **CDU-G**

Avec ce type de CDU, la RBS 2206 peut être configuré sur deux modes : mode capacité ou le mode couverture. En mode capacité, jusqu'à 12 TRU sont connectables sur les 3 antennes de la cellule. Il supporte les deux types de saut de fréquence.

La Software Power Boost peut être utilisée pour améliorer le downlink output power pour la RBS 2000 et ainsi avoir une meilleure couverture. Une condition préalable à cela est d'avoir la CDU-A ou G utilisée et que chaque cellule soit équipée de 2 TRU. TX-diversity est alors utilisée pour obtenir un gain de diversité downlink de 3 dB devant être ajouté au bilan de liaison.

Software Power Boost gain : 3 dB

La RBS 2206 est une macro-BTS supportant jusqu'à 12 TRU par cabinet, qui peut être configuré comme une cellule uni-sectorielle, bi-sectorielle ou trisectorielle.

La RBS 2302 est une micro-BTS. Trois RBS 2302 peuvent être connectées pour avoir jusqu'à 6 TRU par cellule. Le Software Power Boost peut aussi être utilisé avec la RBS 2302.

La RBS 2401 est la première pico-BTS dédiée, désignée pour les applications domestiques (indoor). Elle est équipée de deux TRX.

La puissance de sortie, la sensibilité et le "minimum carrier separation" des RBS de la série 2000 sont listées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 1

CDU / RBS	Output power	Sensitivity	Minimum carrier separation [kHz]
A	44.5	-110 ¹	400 ³
C	41.0	-110	400 ³
C+	41.0	-110	400 ³
C+ (EGSM)	40.5	-109.5	400 ³
D (EGSM)	42.0	-110	600
F	42.5 / 43.0 ⁴	-110 ¹	400 / 600 ⁴
G	42.0 / 45.5 ⁵	-110 ¹	400
RBS 2302	33.0	-107	400
RBS 2401	19.0	-100	400

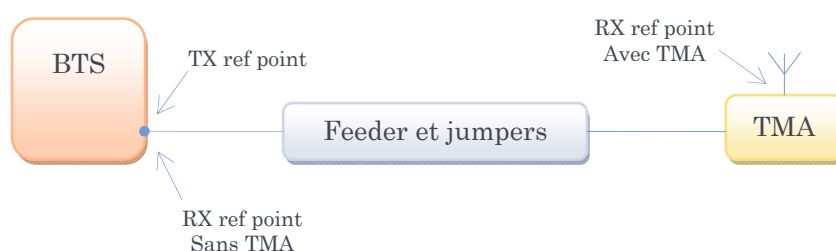
¹. Avec le TMA, la sensibilité est de -111.5 dBm. Cette sensibilité s'applique aux feeders de l'antenne avec une perte atteignant les 4 dB. Si la perte entre la TMA et la BTS excède 4 dB, la sensibilité est abaissée.

². La CDU-C est, de nos jours, remplacé par la CDU-C+.

³. Le CDU peut, d'un point de vue performance radio, gérer une séparation de porteuse de 200 kHz, mais les bursts peuvent alors être perdues dû à un C/A trop bas. D'un point de vue système, les conséquences résultantes d'une descente au-dessous de la barre des 400 kHz ne sont pas complètement étudiées. Des problèmes, par exemple, avec les ondes stationnaires peuvent subvenir. Ainsi, il est recommandé de garder une séparation de 400 kHz.

⁴. Si une séparation de 400 kHz est utilisée, la puissance de sortie serait de 42.5 dBm.

⁵. La puissance de sortie est de 42.0 dBm si un *hybrid combiner* utilisé dans la TRU.



2. TMA

Dans le but d'améliorer la sensibilité sur un uplink, un TMA (Tower Mounted Amplifier) peut être utilisé. Le but du TMA est d'amplifier le signal reçu avant qu'il ne s'atténue d'avantage dans le câblage principal de transmission (feeder) de l'antenne.

Les deux types de TMA, ayant différents nombres de filtres duplex, sont définis dans ce tableau :

Tableau 2

Produits TMA	Nombre de duplexeurs	TMA downlink loss [dB]
RBS 2000 TMA 900 Simplex	0	0
RBS 2000 TMA 900 Dual Duplex	2	0.3

Avec un TMA, la sensibilité du récepteur n'est pas affectée par la perte dans le feeder tant que celle-ci n'excède pas les 4 dB. Quand la perte excède ce seuil, la sensibilité décroît selon les lois définies dans le tableau suivant.

Tableau 3

Perte [dB]	Sensitivity deterioration [dB]
≤ 4	0
6	0.5
8	1.5
10	2.5

Note : Ces valeurs sont mesurées avec une amplification de TMA valant 12 dB. Certains TMA peuvent encore plus amplifier le signal. Et dans ce cas, la détérioration diminue.

Exemple : la sensibilité de la CDU-A avec une perte feeder de 8 dB entre la RBS et le TMA devient $-111.5 + 1.5 = -110 \text{ dBm}$ au connecteur TMA.

3. Antenne

Il existe plusieurs types d'antennes. Les antennes pour macro-cellules peuvent avoir différentes dimensions et formes de motif, donnant un plus grand gain en propagation. Le lobe vertical peut être penché vers le bas. Les antennes peuvent être d'une certaine façon double-polarisé et leur largeur de bande plus ou moins augmentée.

L'antenne standard pour un site trisectorisés a un rayon vertical de 65°. Ça veut dire que le gain à 32.5° est de 3 dB en moins au gain maximal.

À 60°, on en déduit typiquement 60 dB. Le gain d'une antenne de macro-cellule est typiquement à 15-18 dB.

Les antennes "larges" 90° et 105° de rayon horizontal sont alternatives. Cependant, la différence en forme de zone de couverture est petite mais le gain un peu moins pour une certaine longueur d'antenne.

Les antennes omnidirectionnelles à 900 MHz ont un gain typique de 8-11 dBi.

3.1. Isolation

L'isolation entre deux antennes est définie comme étant l'atténuation du connecteur de la première antenne au connecteur de la seconde.

Pour éviter de recevoir des signaux indésirables, l'isolation doit être d'au moins 30 dB entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice, mais aussi entre deux antennes émettrices.

Pour obtenir la valeur d'isolation requise, les antennes doivent être positionnées à une certaine distance minimale l'une de l'autre. Cette distance dépend du type des antennes utilisées et de leur configuration.

3.2. Tilt

Le "Tilt" d'antenne est le fait de pencher à un certain degré le rayon vertical d'une antenne par rapport à l'horizon. Il est aussi dit "downtilt". Le tilting est utilisé dans les systèmes cellulaires pour deux raisons principales : l'amélioration de la couverture des petits sites avec des antennes positionnées à de hautes places ; et l'amélioration de l'interférence co-canal. On peut "tilter" une antenne de deux façons différentes. D'une façon électrique, ou d'une façon mécanique.

Le tilt électrique est un in-built tilt (tilt pendant la conception) qui descend (abaisse) le rayon vertical dans toutes les directions horizontales. L'angle de tilting est normalement fixé.

En usant du tilt mécanique, l'antenne est montée sur un support ajustable dans le but d'ajuster la position et l'angle de l'antenne sur le site. Le tilt mécanique est utilisé pour les antennes directionnelles.

Note : il est possible de combiner ces deux méthodes de tilt.

Le tilt se fait suivant deux règles pratiques :

- Si une réduction maximale des interférences co-canales est désirée : la première entaille dans le motif vertical de l'antenne doit être orientée vers la zone où la réduction d'interférences est désirée. De ceci doit cependant résulter une baisse indésirable de la puissance du signal au bord de la cellule.

- Si une réduction minimale de couverture est désirée : alors l'antenne est tiltée jusqu'à ce que le rayon vertical pointe vers le bord de la cellule. Un tilt additionnel d'un degré (1°) peut être utilisé sans aucune baisse significative dans la puissance du signal en bordure de cellule. Ainsi, le fait de tilter une antenne vers le bord d'une cellule est une méthode sûre pour augmenter le rapport Porteuse/Interférence (C/I) sans mettre en danger la couverture.

Quelques recommandations pour le tilting :

- Ça ne sert à rien de tilter une antenne moins qu'à un angle donnant 3 dB de perte à l'horizon. Ceci correspond à un tilt voisinant 7° pour une antenne de 15 dBi. Un tilt moindre donne un impact limité et ne vaut pas la peine.

- Étudier soigneusement le diagramme de l'antenne avant de sélectionner l'angle de tilt. La grande part de l'effet du tilt se passe entre l'angle correspondant à 3 dB pointé vers l'horizon et l'angle qui correspond au tilt du premier nul vers l'horizon. Par

exemple, un tilt de 8° donne un effet dépassant de loin le double du résultat d'un tilt de 4°.

- Éviter un "down tilt" dépassant l'angle donnant le premier nul vers l'horizon. De tels tilts (tilt encore plus "bas") peuvent être utilisés dans des cas extrêmes. Mais si besoin est d'une plus grande réduction d'interférences ou de taille de cellule, une réduction de l'output power, ou même de la longueur de l'antenne, peut être considéré. De plus grands tilts (descendant après le premier zéro vers l'horizon) doivent être soigneusement vérifiés, les effets d'un si large tilt étant difficilement prédictibles.

- Vérifier tous les effets après un down tilt de plus de 8° (pour les antennes de 15 dBi) ou de 4° (pour les antennes à 18 dBi). Ne pas oublier que comme il est important qu'un down tilt ait été exigé pour réduire les interférences d'une zone, il est tout aussi important de vérifier la couverture et la qualité d'une cellule à laquelle un down tilt a été effectué. Même si un problème est résolu, d'autres erreurs ou problèmes peuvent survenir.

III. COUVERTURE CELLULAIRE

Pour la couverture cellulaire, on doit définir le niveau de sensibilité de la MS et de la BTS, mais aussi inclure différentes marges pour obtenir la couverture désirée.

On défini alors les différents paramètres qui rentrent dans la planification.

1. Puissance de signal requise

À un niveau de sensibilité d'une MS, des marges doivent être ajoutée pour compenser les pertes (Rayleigh fading, body loss et interférences), permettant ainsi d'obtenir le niveau de signal requis pour effectuer un appel en situation réelle. C'est le signal requis noté SS_{req} (indépendant de l'environnement).

$$SS_{req} = MS_{sens} + RF_{marg} + IF_{marg} + BL$$

Où :

MS_{sens}	Sensibilité de la station mobile
RF_{marg}	Rayleigh fading margin
IF_{marg}	Interference margin
BL	Body loss

2. Niveau de signal désiré

Des marges supplémentaires sont ajoutées au SS_{req} pour traiter le LNF tout comme les différent types de perte. Ces marges dépendent de l'environnement et de la couverture désirée. La puissance de signal obtenue est celle qui devrait être utilisée lors de la planification du système. C'est le design level, noté SS_{design} . Cette puissance de signal est la valeur qui doit être obtenue à la limite d'une cellule en travaillant sur un outil de prédiction comme EET/TCP.

$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)}$	MS outdoor
$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} + CPL$	MS in-car
$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o+i)} + BPL_{mean}$	MS indoor

Où :

$LNF_{marg(o)}$	Outdoor log-normal fading margin
$LNF_{marg(o+i)}$	Outdoor plus Indoor log-normal fading margin
CPL	Car penetration loss
BPL_{mean}	Mean building penetration loss

2.1. Marges

2.1.1. Log-normal fading

Valeur de puissance du signal calculée par l'algorithme de propagation utilisé en une petite zone dont le rayon est déterminé par la résolution et la précision du model (le calibrage). Supposons que le fast fading n'existe pas, le niveau du signal varie dans une direction non considérée par l'algorithme de prédiction. Cette valeur est comparée à la valeur de prédiction. La variation est appelée LNF.

La puissance du signal reçu est un processus aléatoire et il n'est possible que d'estimer la probabilité que celui-ci dépasse un certain seuil. Dans les résultats des prédictions d'EET ou TCP, par exemple, 50 % des localisations (au bord d'une cellule par exemple) peuvent être considérés comme ayant une puissance de signal dépassant la valeur prédite. En vue de prévoir pour une probabilité de plus de 50% de signal dépassant le seuil, une marge "log-normal fading margin", ou LNF_{marg} , est ajoutée au seuil pendant le processus de conception.

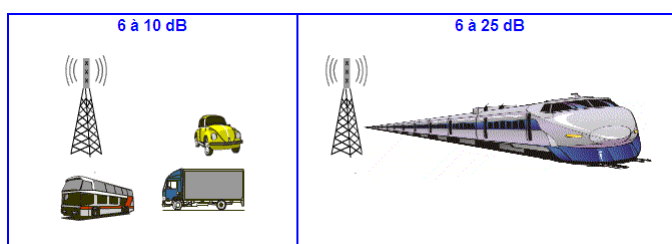
2.1.2. Atténuations supplémentaires

Body loss

Lorsqu'un mobile est placé près de la tête de l'utilisateur, on introduit une marge de sécurité correspondant à l'atténuation due à la présence de celle-ci. On parlera indifféremment d'effet de tête ou de pertes dues à la présence du corps (head effect ou body loss). Cette marge peut varier entre 3 et 6dB. Le body loss, suivant les recommandations de l'ETSI, vaut 3 dB. Et dans la recommandation Ericsson, il vaut 5 dB.

Car penetration loss

Atténuation due à la pénétration dans un véhicule. Quand une MS est située dans une voiture sans antenne, une marge supplémentaire est introduite pour parer ce problème. Ericsson recommande 6 dB.



Building Penetration Loss (BPL)

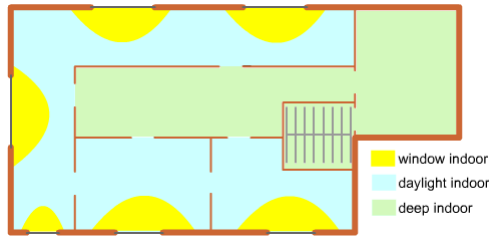
Atténuation due à la pénétration dans un bâtiment.

Lorsque le terminal mobile se trouve à l'intérieur d'un bâtiment, le signal est atténué différemment suivant sa position ainsi que suivant la forme et la nature du bâtiment (façade vitrée, béton, brique...).

Si l'utilisateur est situé à proximité d'une fenêtre ou d'un accès à l'extérieur, l'atténuation du signal est dite "window indoor", elle est de l'ordre de 5 à 10 dB.

Si l'utilisateur est situé loin des ouvertures mais en vue de la lumière du jour, l'atténuation du signal est dite "daylight indoor" ; elle est de l'ordre de 10 à 15 dB.

Si l'utilisateur est situé loin des ouvertures et à l'abri de la lumière du jour, l'atténuation du signal est dite "deep indoor" ; elle est de l'ordre de 10 à 20 dB.



Le BPL est la différence entre le niveau du signal juste à l'orée du bâtiment et le signal qu'on a à l'intérieur du bâtiment.

Le BPL pour différents bâtiment est distribué selon une loi Log-Normale avec un écart-type σ_{BPL} .

2.2. Design levels

Dans cette section, les Design levels, SS_{design} , sont calculés pour la couverture outdoor, in-car et indoor. Comme décrit plus haut, cette puissance de signal est calculée par la somme des puissances de signal requises, SS_{req} et différentes marges. Dans cette section, la valeur de SS_{req} est prise comme :

$$\begin{aligned} SS_{req} &= MS_{sens} + RF_{marg} + IF_{marg} + BL \\ &= -104 + 3 + 2 + 5 \\ &= -94 \text{ dBm} \end{aligned}$$

2.2.1. Couverture outdoor et in-car :

Les design-levels pour la couverture outdoor et in-car sont calculés comme suit :

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} \quad : \text{MS outdoor}$$

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o)} + CPL \quad : \text{MS in-car}$$

Où la $LNF_{marg(o)}$ est la marge LNF requise pour gérer le "outdoor LNF". Cette atténuation sera représentée par son écart-type $\sigma_{LNF(o)}$ et dépendra de la région.

Le tableau suivant référence les résultats du calcul de SS_{design} pour différentes régions de couverture. La valeur de la $LNF_{marg(o)}$ est calculée suivant une simulation dans l'Appendix 2 qui inclue le multi-trajet. Une valeur de 3 dB est prise pour le paramètre d'hystérésis.

Tableau 4

Type de région	Couverture [%]	SS_{req} [dBm]	$LNF_{marg(o)}$ [dB]	SS_{design} outdoor [dBm]	SS_{design} in-car [dBm]
Urbaine à forte densité $\sigma_{LNF(o)} = 10 \text{ dB}$	75	-94	-3.1	-97.1	-91.1
	85	-94	0.7	-93.3	-87.3
	90	-94	3.2	-90.8	-84.8
	95	-94	6.8	-87.2	-81.2
	98	-94	10.7	-83.3	-77.3
Urbaine $\sigma_{LNF(o)} = 8 \text{ dB}$	75	-94	-3.4	-97.4	-91.4
	85	-94	-0.2	-94.2	-88.2
	90	-94	1.8	-92.2	-86.2
	95	-94	4.9	-89.1	-83.1
	98	-94	8.1	-85.9	-79.9
Suburbaine et rurale $\sigma_{LNF(o)} = 6 \text{ dB}$	75	-94	-3.7	-97.7	-91.7
	85	-94	-1.2	-95.2	-89.2
	90	-94	0.5	-93.5	-87.5
	95	-94	3.0	-91	-85
	98	-94	5.5	-88.5	-82.5

2.2.2. Couverture indoor :

Couverture indoor :

La couverture indoor (indoor coverage) est définie comme le pourcentage de rez-de-chaussée de tous les bâtiments alentours où le signal dépasse le niveau de signal requis des mobiles, SS_{req} .

Building penetration loss

La BPL est définie comme la différence entre la puissance de signal moyenne juste à l'extérieur du bâtiment et la puissance de signal moyenne dans le rez-de-chaussée de ce dernier. La BPL pour différents bâtiments suit une distribution log-normale avec un écart-type de σ_{BPL} .

Les variations d'atténuation sur le rez-de-chaussée peuvent être décrites par une variable stochastique, distribuée de façon log-normale avec une moyenne nulle et un écart-type σ_{floor} .

Dans ce document, σ_{BPL} et σ_{floor} sont confondues en les additionnant comme elles suivent toutes deux une loi log-normale et sont des processus indépendants. L'écart type résultant, σ_{indoor} ou $\sigma_{LNF(i)}$, peut être calculé comme la racine carrée de la somme des carrées.

General

Dans ce document, la couverture indoor est le calcul de la marge requise pour atteindre une certaine couverture indoor dans une assez large zone ; large telle la taille de macro-cellules. Il est supposé que ce sont les macro-cellules qui fournissent la majeure partie de couverture intérieure. Les microcellules fournissent bien sûr une amélioration de la couverture mais leur effet n'est pas pris en charge dans ce document.

On sait communément que le BPL diminue en hauteur des bâtiments. Cet effet est connu comme "height gain". C'est un effet dû à la définition du BPL et non à la structure du bâtiment.

Indoor design level

$$SS_{design} = SS_{req} + LNF_{marg(o+i)} + BPL_{mean} \quad \text{MS indoor}$$

Où la somme des BPL_{mean} et $LNF_{marg(o+i)}$ peut être vue comme la marge de pénétration d'intérieur (indoor margin). BPL_{mean} est la valeur moyenne du BPL et $LNF_{marg(o+i)}$ est la marge requise pour contenir le LNF total qui est composé de l'outdoor LNF et du indoor LNF. L'écart-type total du LNF est donné par la racine de la somme des carrés de l'écart type LNF outdoor et de l'indoor.

$$\sigma_{LNF(o+i)} = \sqrt{\sigma_{LNF(o)}^2 + \sigma_{LNF(i)}^2} \quad (6)$$

Dans le tableau suivant, quelques valeurs de BPL_{mean} et de $\sigma_{LNF(i)}$ sont représentées. Ces valeurs sont basées sur les valeurs expérimentales. Il faut retenir que les caractéristiques des environnements peuvent différer à travers le monde. Ainsi les valeurs du tableau doivent être traitées avec restriction. Elles peuvent être considérées comme une approximation raisonnable lorsqu'aucune autre information n'est disponible. Les zones rurales ne sont pas considérées ici, n'étant pas communément prises en compte pour l'indoor coverage.

Tableau 5

	BPL_{mean} [dB]	$\sigma_{LNF(o)}$ [dB]	$\sigma_{LNF(i)}$ [dB]	$\sigma_{LNF(o+i)}$ [dB]
Urbain à forte densité	18	10	9	14
Urbain	18	8	9	12
Suburbain	12	6	8	10

Dans le tableau qui suit, les design-levels requis pour obtenir une couverture d'intérieur de 75%, 85%, 90%, 95% et de 98% sont données.

Les paramètres pour le building penetration et le log-normal fading sont données tel qu'ils sont dans le tableau précédent.

Tableau 6

Type de région	Couverture [%]	SS_{req} [dBm]	$LNF_{marg(o+i)}$ [dB]	BPL_{mean} [dB]	SS_{design} indoor [dBm]
Urbaine à forte densité $\sigma_{LNF(o)} = 10 \text{ dB}$	75	-94	-3.2	18	-79.2
	85	-94	1.8	18	-74.2
	90	-94	5.1	18	-70.9
	95	-94	9.9	18	-66.1
	98	-94	15.3	18	-60.7
Urbaine $\sigma_{LNF(o)} = 8 \text{ dB}$	75	-94	-3.1	18	-79.1
	85	-94	1.3	18	-74.7
	90	-94	4.2	18	-71.8
	95	-94	8.4	18	-67.6
	98	-94	13.1	18	-62.9
Suburbaine $\sigma_{LNF(o)} = 6 \text{ dB}$	75	-94	-3.1	18	-85.1
	85	-94	0.7	18	-81.3
	90	-94	3.2	18	-78.8
	95	-94	6.8	18	-75.2
	98	-94	10.7	18	-71.3

3. Validation de la couverture

Validation de la couverture.

3.1. General

La vérification d'une planification cellulaire est faite en accomplissant des mesures dans le système. Le but est de mesurer la puissance de signal et d'estimer si le niveau reçu correspond à la puissance de signal requise SS_{req} . L'équipement recommandé pour ces tests est un mobile TEMS doté d'une antenne extérieure (de toit).

Dans le but d'être connecté au meilleur serveur possible durant le test, un classement de puissance de signal pure, appelé K-ranking, devra être utilisé dans l'algorithme de localisation. En plus, un petit handover hystérésis, par exemple 3 dB, sera utilisé. Le Power Control Downlink devra être éteint.

Une compensation devra être effectuée pour différents objets affectant les valeurs mesurées. Par exemple, la perte feeder et le gain antenne dans l'antenne extérieure.

3.2. Outdoor

Le niveau d'acceptation à vérifier est la puissance de signal requise SS_{req} pour la couverture outdoor. Ce niveau devra être trouvé dans au moins A% des prélèvements, où A représente la couverture désirée.

Exemple, couverture à 95 % :

Tableau 7

Criteria for downlink signal strength	Rural, 95% outdoor coverage
Acceptance level, (SS_{req}) dBm or better in 95 % of the samples	-94

3.3. In-car

Le niveau d'acceptation (acceptance level) à vérifier est la puissance de signal requise SS_{req} pour la couverture in-car. Ce niveau devra être mesuré dans au moins A% des cas, où A représente la couverture désirée.

Exemple, couverture à 95% :

Tableau 8

Criteria for downlink signal strength	Rural, 95% in-car coverage
Acceptance level, (SS_{req}) dBm or better in 95 % of the samples	-88

3.4. Indoor

Pour vérifier la couverture indoor, soustraire la marge LNF outdoor correspondant à la couverture (A%) désirée de la valeur de signal SS_{design} . Ce niveau doit être mesuré dans au moins A% des échantillons.

Exemple, couverture à 95%

Tableau 9

Criteria for downlink signal strength	Rural, 95% indoor coverage
SS_{design} [dBm]	-68
Acceptance level, ($SS_{design} - LNF_{marg(o)}$) dBm or better in 95 % of the samples	-73

IV. PLANIFICATION CELLULAIRE.

1. Modèles de propagation pour l'estimation

En estimant grossièrement la couverture cellulaire, sans respect des caractéristiques spécifiques du terrain de la zone, un algorithme de propagation assez simple peut être utilisé.

La norme, en effectuant une planification cellulaire pour un système de 900 MHz, consiste à employer la forme originelle de l'algorithme Okumura-Hata. L'équation ci-dessous décrit la perte de parcours L_{path} .

$$L_{path} = A - 13.82 \log HB + (44.9 - 6.55 \log HB) \log R - a(HM) \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

Où :

A	= 146.8 zones urbaines
A	= 136.9 zones suburbaines ou semi-ouvertes
A	= 127.5 zones rurales
A	= 118.3 zones ouvertes
HB	= hauteur de l'antenne à la station de base [m]
R	= distance de l'émetteur [Km]
HM	= hauteur de l'antenne de la station mobile [m]
a(HM)	= $3.2 (\log 11.75 HM)^2 - 4.97$
a (1.5)	= 0

Le rayon cellulaire est la distance R correspondant à la perte de parcours $L_{pathmax}$. Selon Okumura-Hata, le rayon est :

$$R = 10^\alpha, \text{ où } \alpha = \frac{[L_{pathmax} - A + 13.82 \log HB + a(HM)]}{[44.9 - 6.55 \log HB]} \quad (8)$$

Pour de petites cellules en environnement urbain, le rayon cellulaire est typiquement inférieur à 1 km et n'est pas valide dans le cas de l'algorithme Okumura-Hata.

Le modèle COST-231-Walfish-Ikegami donne une meilleure approximation pour le rayon cellulaire en environnement urbain. La perte de parcours selon Walfish-Ikegami est :

$$L_{path} = 143.2 + 38 \log R - 18 \log(HB - 17) \quad [\text{dB}] \quad (9)$$

Selon ce dernier, le rayon cellulaire est :

$$R = 10^\alpha, \text{ où } \alpha = \frac{[L_{pathmax} - 143.2 + 18 \log(HB - 17)]}{38} \quad (10)$$

2. Bilan de liaison

L'équilibre de la propagation (path balance) implique que la couverture du downlink soit égale à la couverture de l'uplink. Le bilan de liaison montre lequel du uplink ou du downlink sera le faible.

Quand le downlink est plus fort, l'EIRP (*equivalent isotrope power*) utilisé dans la prédiction doit être basé sur la puissance de sortie équilibrée de la BTS. Quand le uplink est plus fort, la puissance de sortie maximale de la BTS est utilisée à la place de l'équilibrée. En pratique, on voit que dans le cas où le downlink est plus fort, il est avantageux d'avoir une EIRP de base quelque peu plus grand (de 2-3 dB) que celui calculé depuis les considérations de l'équilibre de puissance. C'est parce que le gain de diversité excède parfois les 3.5 dB.

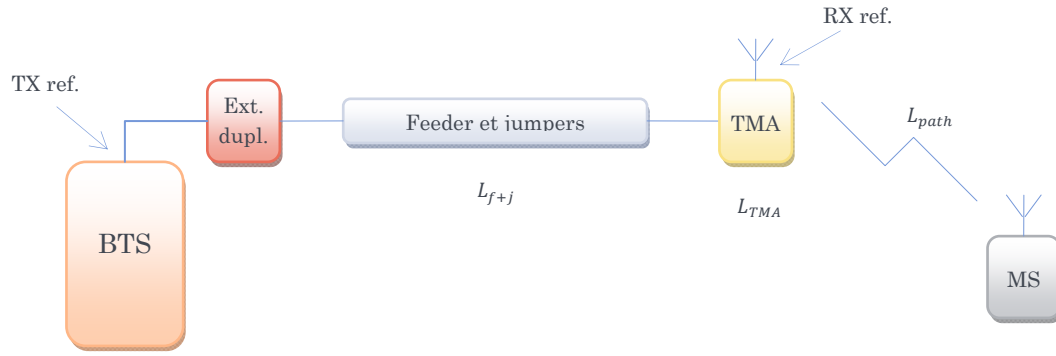
Dans les calculs plus bas, le gain d'antenne dans la MS et la perte de feeder dans celle-ci sont nulles et par conséquent négligés. Il est aussi supposé que le gain antenne et la perte feeder sont les mêmes du côté transmetteur (émetteur) et récepteur de la BTS.

Les abréviations suivantes sont utilisées :

P_{inMS}	Puissance reçue dans la MS	[dBm]
MS_{sens}	Sensibilité de la MS	[dBm]
P_{inBTS}	Puissance reçue dans la BTS	[dBm]
BTS_{sens}	Sensibilité de la BTS	[dBm]
P_{outMS}	Puissance transmise maximale de la MS	[dBm]
P_{outBTS}	Puissance transmise de la BTS	[dBm]
P_{outbal}	Puissance équilibrée transmise de la BTS	[dBm]
L_{f+j}	Perte feeder et jumper à la BTS	[dB]
L_{dupl}	Perte du duplexe externe à la BTS	[dB]
L_{slant}	Perte de la polarisation oblique ($\pm 45^\circ$) du downlink	[dB]
L_{TMA}	Perte duplex au TMA	[dB]
L_{path}	Perte de parcours entre la MS et la BTS	[dB]
G_{ant}	Gain antenne in BTS	[dBi]
G_{div}	Gain de diversité dans la BTS	[dB]
Δ_{sens}	$MS_{sens} - BTS_{sens}$	[dB]

3. Équilibre de puissance

3.1. Équilibre de puissance avec TMA à l'antenne



Système avec TMA. L_{dupl} ne doit être pris en compte que si un duplexeur externe est utilisé. L_{slant} ne doit être pris en compte que si on a une polarisation oblique pour l'antenne TX.

$$DL : Pin_{MS} = Pout_{BTS} - L_{f+j} - (L_{dupl}) - L_{TMA} + G_{ant} - (L_{slant}) - L_{path} \quad (11)$$

$$UL : Pin_{BTS} = Pout_{MS} - L_{path} + G_{ant} + G_{div} \quad (12)$$

Pin_{BTS} est référencé au point RX ref. et $Pout_{BTS}$ au point TX ref.

Supposant que la perte de parcours est réciproque (c'est-à-dire que $L_{pathUL} = L_{pathDL}$, (11) et (12) donnent :

$$Pout_{BTS} = Pout_{MS} + G_{div} + L_{f+j} + L_{TMA} + L_{dupl} + (L_{slant}) + Pin_{MS} - Pin_{BTS}$$

Un système équilibré est obtenu quand $Pin_{MS} = Pin_{BTS} + \Delta_{sens}$;
Où $\Delta_{sens} = MS_{sens} - BTS_{sens}$.

$$Pout_{bal} = Pout_{MS} + G_{div} + L_{f+j} + L_{TMA} + (L_{dupl}) + (L_{slant}) + \Delta_{sens} \quad (13)$$

L'EIRP correspondant est donné par :

$$EIRP = Pout_{bal} - L_{f+j} - (L_{dupl}) - L_{TMA} + G_{ant} - (L_{slant}) \quad (14)$$

Exemple avec TMA :

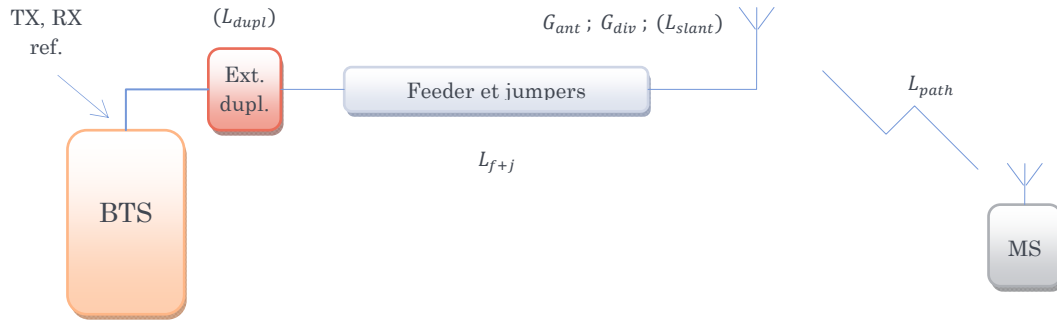
Dans le tableau suivant, la puissance de sortie équilibrée est calculée pour une RBS 2000 équipée d'une CDU-A, un TMA, et d'une antenne à polarisation oblique ($\pm 45^\circ$). Aucun boost de puissance logiciel n'est appliqué. Le calcul est fait en usant de l'équation (13).

Tableau 10 : Puissance de sortie équilibrée au point de référence TX.

		MS classe 4	MS classe 5
$P_{out_{MS}}$	[dBm]	33	29
G_{div}	[dB]	3.5	3.5
L_{f+j}	[dB]	3	3
L_{dupl}	[dB]	-	-
L_{TMA}	[dB]	0.3	0.3
L_{slant}	[dB]	1	1
Δ_{sens}	[dB]	$-104 - (-111.5) = 7.5$	$-104 - (-111.5) = 7.5$
$P_{out_{bal}}$	[dB]	48.3 *	44.3

* La puissance maximale de sortie pour la RBS 2000 équipée d'une CDU-A est 44.5 dBm. Ainsi, dans cet exemple, l'uplink deviendra plus fort que le downlink.

3.2. Équilibre de puissance sans TMA.



Système sans TMA à l'antenne. L_{dupl} doit être pris en compte si un duplexeur externe est utilisé. L_{slant} ne doit être pris en compte que si des antennes TX à polarisation oblique sont utilisées.

$$DL : Pin_{MS} = Pout_{BTS} - (L_{dupl}) - L_{f+j} + G_{ant} - (L_{slant}) - L_{path} \quad (15)$$

$$UL : Pin_{BTS} = Pout_{MS} - L_{path} + G_{ant} + G_{div} - L_{f+j} - (L_{dupl}) \quad (16)$$

Pin_{BTS} et $Pout_{BTS}$ sont les puissances aux points TX et RX ref.

Supposant que la perte parcours est réciproque, $L_{pathUL} = L_{pathDL}$, (15) et (16) donnent :

$$Pout_{BTS} = Pout_{MS} + G_{div} + (L_{slant}) + Pin_{MS} - Pin_{BTS}$$

Un système équilibré est obtenu quand $Pin_{MS} = Pin_{BTS} + \Delta_{sens}$;
Où $\Delta_{sens} = MS_{sens} - BTS_{sens}$.

$$Pout_{bal} = Pout_{MS} + G_{div} + (L_{slant}) + \Delta_{sens} \quad (17)$$

L'EIRP correspondant est :

$$EIRP = Pout_{bal} - (L_{dupl}) - L_{f+j} + G_{ant} - (L_{slant}) \quad (18)$$

Exemple sans TMA :

Dans le tableau qui suit, la puissance de sortie équilibrée est calculée pour une RBS 2000 équipée d'une CDU-A et d'une antenne à polarisation oblique.

Le calcul est fait en usant de l'équation (17).

Comme on peut le voir, l'uplink est bien plus faible par rapport à l'exemple avec le TMA.

Tableau 11 : Puissance de sortie équilibrée au point de référence TX

		MS classe 4	MS classe 5
$P_{out_{MS}}$	[dBm]	33	29
G_{div}	[dB]	3.5	3.5
L_{slant}	[dB]	1	1
Δ_{sens}	[dB]	$-104 - (-110) = 6$	$-104 - (-110) = 6$
$P_{out_{bal}}$	[dB]	43.5	39.5

4. Taille de cellule

La perte parcours maximale autorisée ($L_{pathmax}$) peut être calculée depuis le bilan de liaison descendante.

$$L_{pathmax} = EIRP - SS_{design} \quad (19)$$

Une fois la perte parcours maximale autorisée calculée, la valeur approximative de la taille de la cellule peut être trouvée en usant d'un des modèles de propagation cités plus haut.

Les deux tableaux (13, 14) montrent le rayon de cellule, R, calculé, pour une couverture de 95% et pour le cas de macro-cellules. La perte parcours permise, $L_{pathmax}$, correspond à la perte parcours outdoor, pour un équilibre de puissance selon la classe 4 (la MS prise en compte) dans l'exemple avec TMA, en section 3.1 du chapitre. R est calculé avec l'équation :

$$R = 10^\alpha, \text{ où } \alpha = \frac{[L_{pathmax} - A + 13.82 \log HB + a(HM)]}{[44.9 - 6.55 \log HB]} \quad (8)$$

Tableau 12 : Hypothèses pour les tailles de cellules calculées dans les tableaux plus bas

EIRP	56.7 dBm sector (antenne 17 dBi, à polarisation croisée) 52.2 dBi omni (antenne 11 dBi, à polarisation verticale)
Niveau désiré (SS_{design})	Voir Tableau 15 en section 4.3.1 et Tableau 17 en section 4.3.2.
Hauteur de la MS (HM)	1.5 m
Hauteur de l'antenne de la BTS (HB)	30 m

Tableau 13 : Taille de cellules pour cellules sectorielles, couverture de 95%

Classe de la MS	Zone	Outdoor		In-car		Indoor	
		L _{pathmax}	R [Km]	L _{pathmax}	R [Km]	L _{pathmax}	R [Km]
Classe 4 33 dBm (2 W)	Urbaine	147.8	3.6	139.8	2.5	124.3	0.9
	Suburbaine	147.7	7.7	141.7	5.2	131.9	2.7
	Rurale	147.7	14.2	141.7	9.6	131.9	5.1
	Zone ouverte	147.7	26.0	141.7	17.5	131.9	9.2

Tableau 14 : Taille de cellule pour cellule omnidirectionnelle, couverture de 95%

Classe de la MS	Zone	Outdoor		In-car		Indoor	
		L _{pathmax}	R [Km]	L _{pathmax}	R [Km]	L _{pathmax}	R [Km]
Classe 4 33 dBm (2 W)	Urbaine	141.3	2.7	135.3	2.5	119.8	0.7
	Suburbaine	143.2	5.7	137.2	3.9	127.4	2.0
	Rurale	143.2	10.6	137.2	7.2	127.4	3.8
	Zone ouverte	143.2	19.3	137.2	13.1	127.4	6.9

En déterminant le rayon cellulaire pour de petites cellules en environnement urbain, le model Walfish-Ikegami est recommandé. La couverture de 95% est considérée et la perte parcours permise, L_{pathmax}, correspond à la perte parcours outdoor, pour l'équilibre de puissance de la MS prise en compte (classe 4) dans l'exemple sans TMA (section 3.1). Les hypothèses suivantes sont posées.

Tableau 15 : Hypothèses pour les tailles de petite cellule, couverture de 95% en environnement urbain

EIRP	56.7 dBm sector (antenne 17 dBi, à polarisation croisée)
Niveau désiré (SS_{design})	-68 dBm, voir Tableau 17 en Section 4.3.2
Hauteur de la MS (HM)	1.5 m
Hauteur de l'antenne de la BTS (HB)	22 m

TAILLE DE CELLULE (R) = 700 M

5. Présentation du TEMS™ CellPlanner

Le TEMS CellPlanner est un logiciel développé par Ericsson permettant la création de réseaux GSM en les simulant. Aux côtés de l'EET, il constitue l'un des principaux outils de prédictions utilisés dans le domaine. Ses performances de calcul ont fait de lui un logiciel incontournable pour les phases d'ingénierie. Pour son réseau GSM, Mobilis l'a adopté pour ses prédictions, ses densifications et son optimisation.

Pour créer un réseau, différentes étapes bien structurées doivent être suivies et divers facteurs doivent être pris en compte telle une base de données contenant les équipements, la topologie du terrain et des atténuations pour différents environnements, etc. est nécessaire.

Grace à ces bases de données, le TEMS calcule d'une manière automatique tous les facteurs de calibrage, la distance intersite, le plan de fréquence, la prédiction de la couverture et du trafic, ainsi que de l'emplacement des sites répondant au cahier de charges comprenant la couverture désirée, le nombre de sites à utiliser, le type d'antenne à utiliser, le trafic convoité.

Dans cette partie qui clôture ce travail, nous suivrons ces étapes pour la création d'un mini réseau GSM.

Avant de nous lancer dans la création du réseau. Nous créons un nouveau projet et nous choisissons entre autre la région géographique à couvrir. Ceci peut être enrichi par l'ajout de MAP apportant les paramètres topologiques de la zone (elevation, landuse, vector, text).

En premier lieu, on va configurer l'explorateur de systèmes. Ce qui se résume à la définition globale du réseau ;

Ce processus se traduit en :

- la configuration et la mise en place du support de transmission (bearer) voulu, le GSM dans notre cas ;
- le choix du modèle de propagation qui se repose sur le modèle Okumura-Hata adapté aux différents pays. Pour l'Algérie, comme pour la plus part des pays du monde usant de ce logiciel, le modèle utilisé est l'algorithme 9999-Propagation-Model ;
- Le choix des bandes de fréquence et allocation des canaux (BCCH et TCH). Pour nous, ça sera le GSM 900 et le EGSM 900 ;
- Le choix du facteur de réutilisation K définissant les motifs ;
- La gestion du trafic. Distribution des ressources disponibles entre les différents terminaux. Dans notre cas, prenons-en deux. Le premier ne supportant que le GSM. Et le second, supportant en plus, le GPRS. La condition est que la somme des deux trafics soit égale à 100%;

En second, nous définissons le matériel présenté précédemment.

Au lieu d'effectuer les réglages sur le matériel de façon manuel, nous utilisons des bases de données établies et référencées par les différents constructeurs. Dans notre cas, nous prendrons exclusivement du matériel Ericsson.

Nous importons donc dans l'environnement TEMS les types d'antennes dont nous aurons besoin, ainsi que les BSC, RBS et les différents composants les reliant. Tels les feeders, les TMA, les repeater (amplificateur) et les ASC.

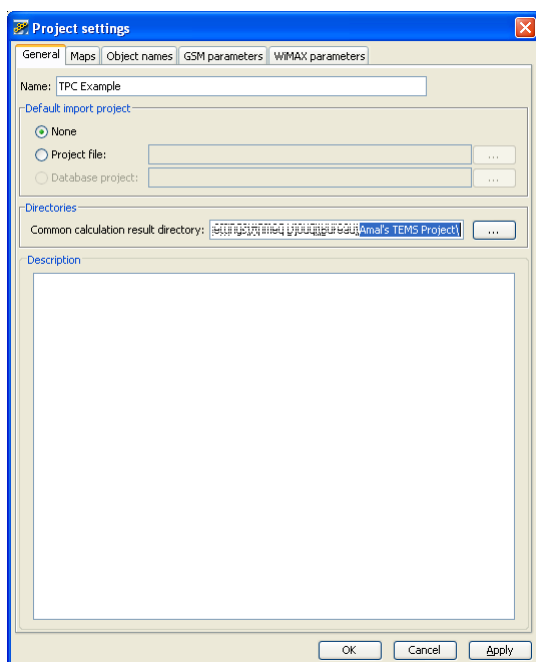
Sans oublier de définir les types de terminaux utilisés.

Restera à configurer le réseau à proprement dit. Ce qui se fait par l'intermédiaire de l'explorateur de réseau. Celui-ci permet de relier les différents équipements installés et de configurer ces derniers. Ceci peut aussi se faire par le biais de l'explorateur de RBS et de Site.

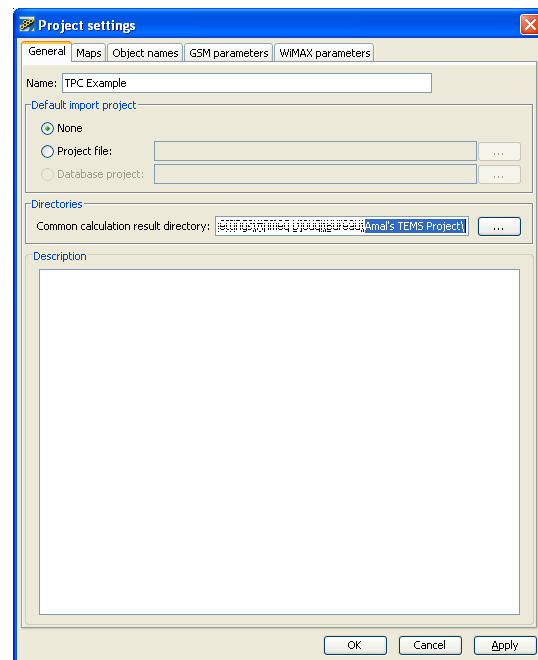
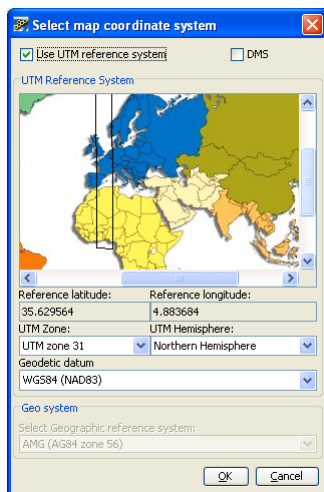
Création du projet GSM

Dans l'environnement principal de l'application, nous initialisons la création d'un nouveau projet par le biais de « New project » dans le menu « File ».

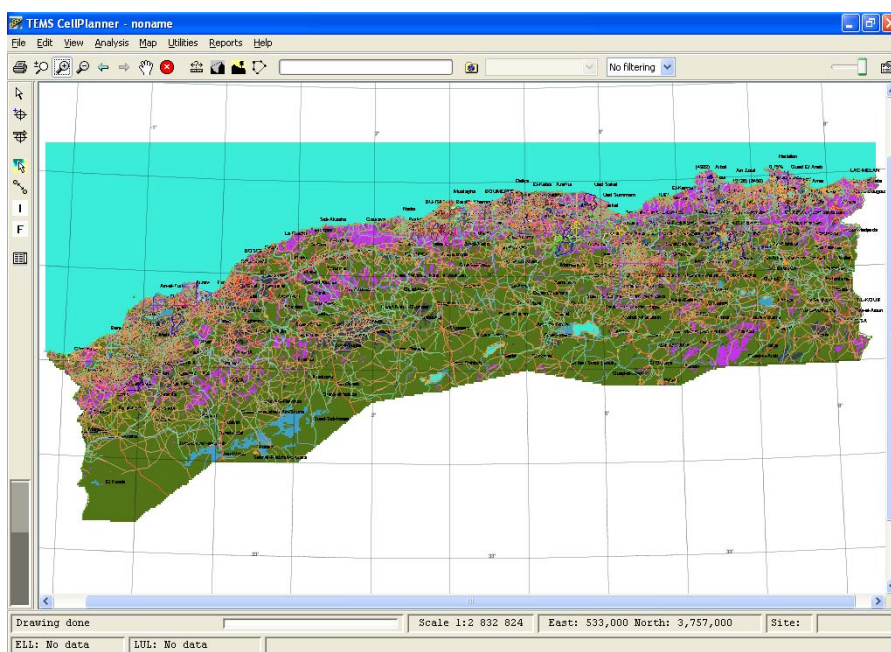
La boîte de dialogue « Project Settings » s'affiche alors et nous pouvons paramétrer ce dernier.



Nous commençons par entrer un nom, puis une adresse de répertoire où stocker le travail. Ceci fait, dans l'onglet « Maps », il nous est offert de prédéfinir des maps. Ceci se fait par l'indication d'un répertoire contenant ces dernières, la spécification de la région géographique du projet (reference system, servant de base pour les coordonnées contenues dans les maps) et enfin, l'importation des attributs de la map courante. Ces dernières comprennent l'image satellite de la région, le texte des villes ou des zones, les données d'élévation et le paramétrage topologique.



Notons qu'il faudra cocher les cases de la colonne « Display » pour que chaque attribut soit visible sur le rendu.

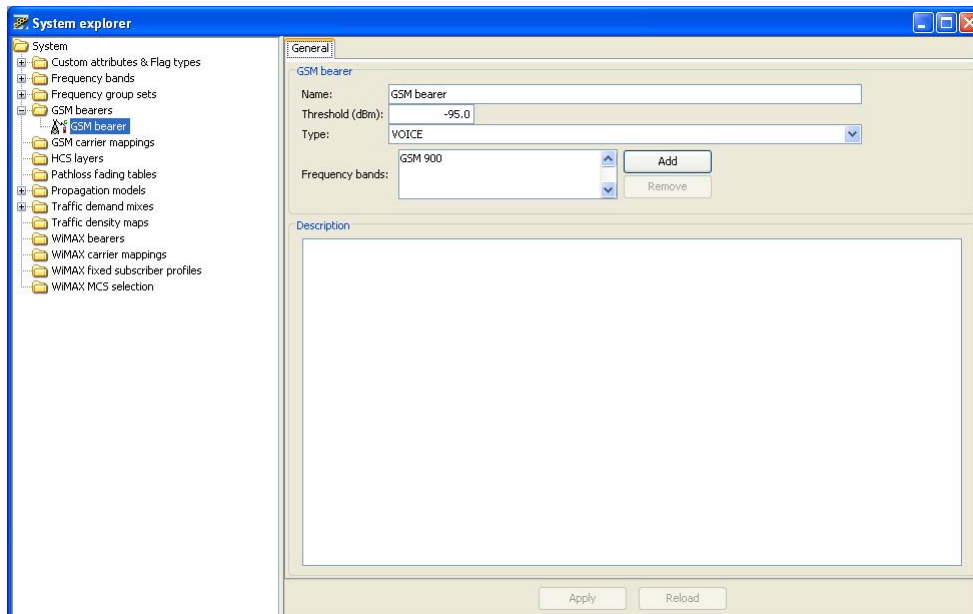


Suivant les étapes définies en présentation, nous pouvons, enfin, passer à la configuration du projet lui-même.

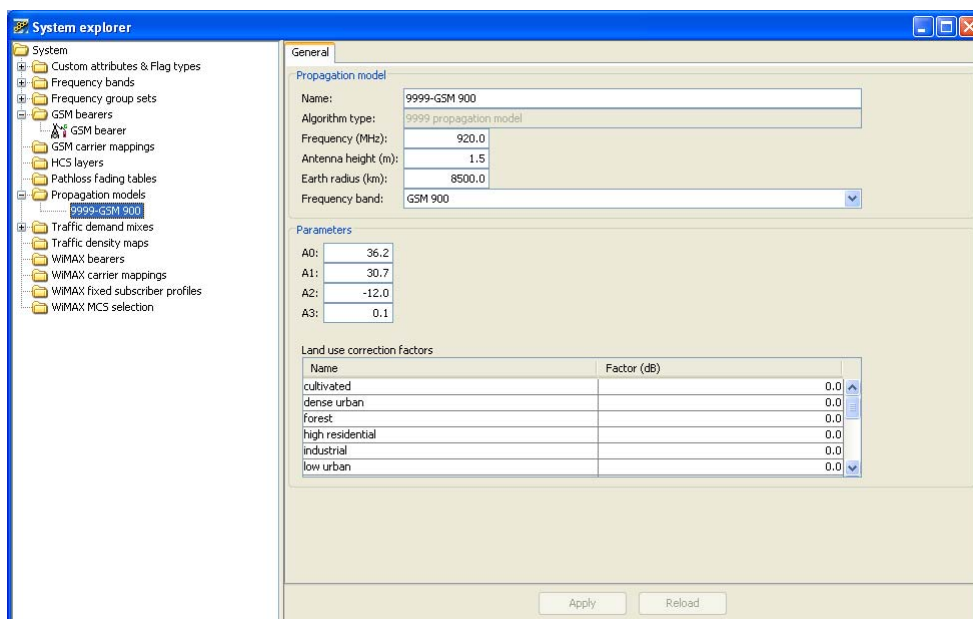
1. L'explorateur de systèmes : System Explorer.

Dans cette étape, nous définirons les options du réseau à créer.

a. En premier, dans la fenêtre de l'explorateur de systèmes (pouvant être ouverte depuis le menu « Utilities » ou par son raccourci [Ctrl+Y]), et par un clic droit sur « GSM bearers » dans le panneau latéral gauche, nous ajoutons notre porteuse GSM. La bande de fréquence sera définie à 900 et type à « Voice » pour "voix".



b. En second, par la même procédure concernant « Propagation models », nous ajoutons – après avoir choisi notre bande de fréquence citée ci-haut – le « 9999 propagation model » et nous définirons comme suit ses facteurs de correction.

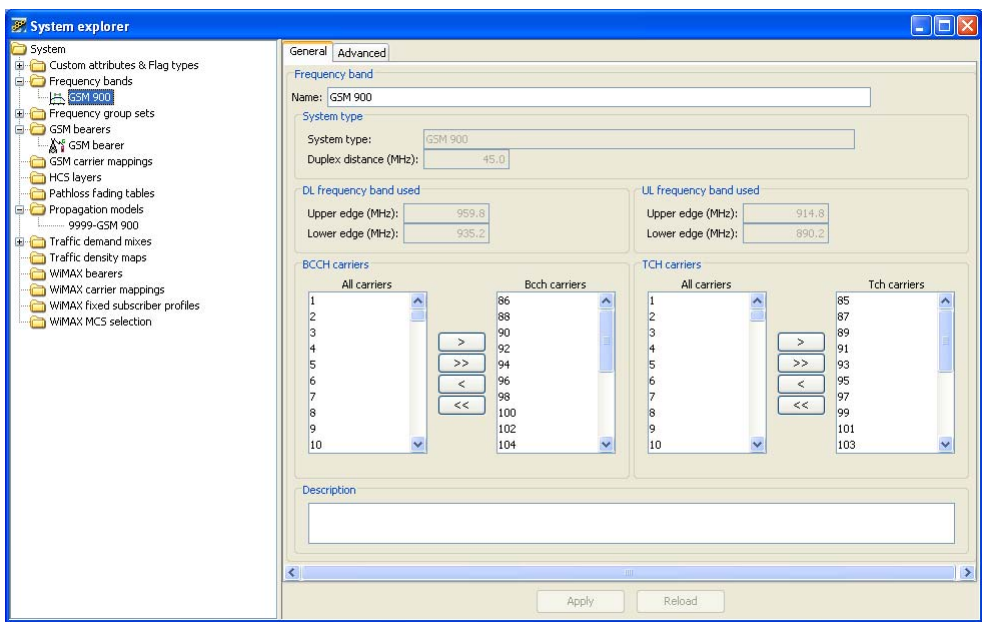


c. Vient maintenant l'ajout de bandes de fréquences. Ceci se trouvant en « Frequency bands » du panneau gauche. Au GSM 900, nous allons définir les différentes porteuses BCCH et TCH. Mobilis possédant les porteuses indexées de 85 à 124, elle procède par deux méthodes pour ce qui est de leur attribution :

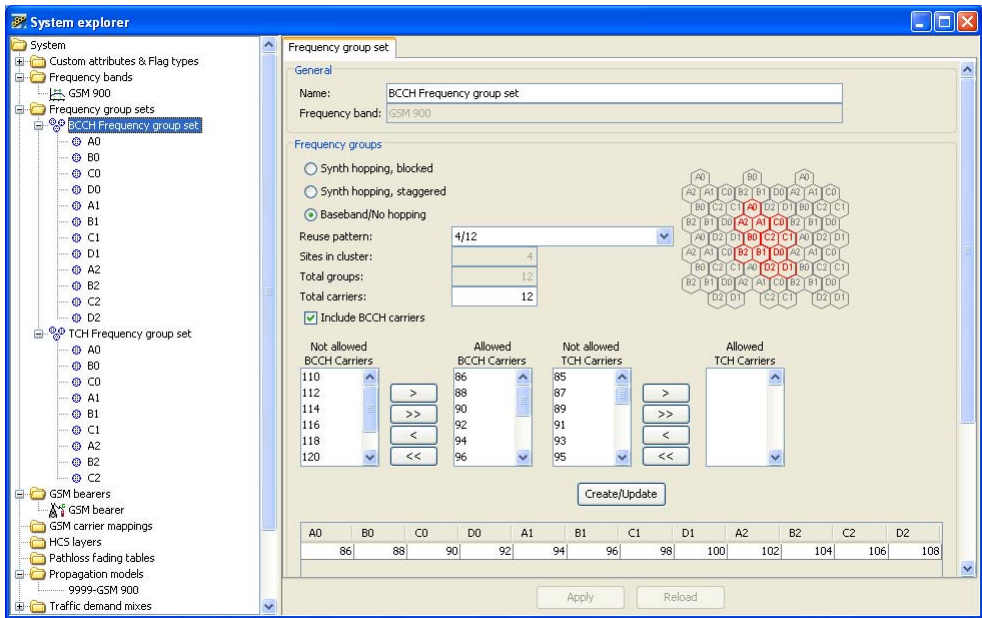
- Méthode 1 : L'usage des index pairs pour un type et des impairs pour l'autre.
- Méthode 2 : La définition d'un certain nombre pour un type et de tout le reste pour l'autre.

Nous userons de la première méthode et aurons donc la distribution suivante :

BCCH	TCH
85, 87, ..., 123	86, 88, ..., 124

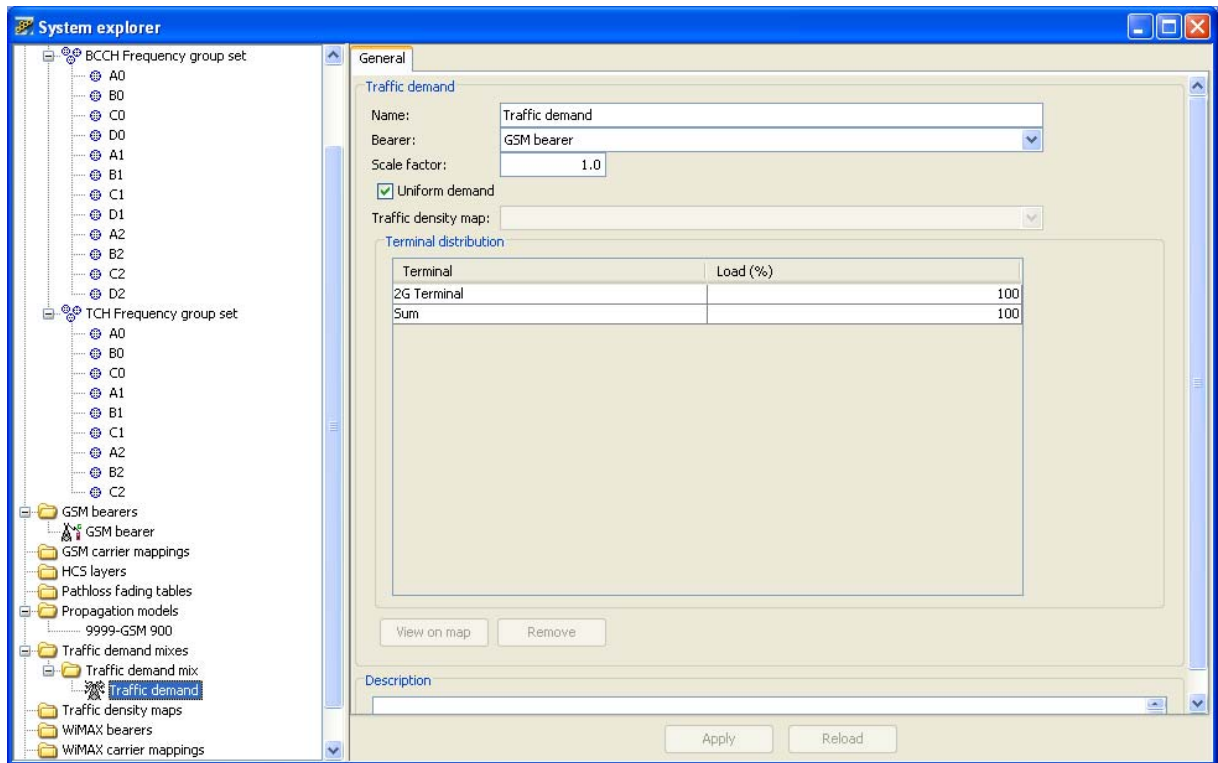


d. Établissement de groupes de fréquences, par l'ajout au groupe « Frequency group sets ». Nous configurons – comme indiqué sur la figure – les groupes pour le BCCH et nous créerons ensuite un autre pour le TCH.



Ici, nous voyons que nous pouvons choisir le modèle de motif à utiliser.

e. Pour finir, nous établirons un modèle de gestion de trafic. Cela en "mixant" la part de chaque terminal dans le réseau. Remarquons que la demande doit être uniformisée, ainsi la charge totale devra être à 100%.

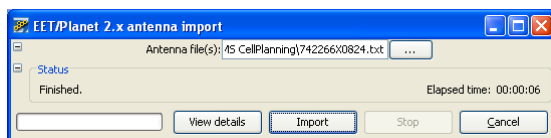


Remarque : Avant d'ajouter un mix de trafic, nous définissons les terminaux existant. Ceci se fera dans la section de configuration de l'équipement.

2. Types d'antennes

Nous utiliserons comme types d'antennes des antennes déjà définies par le constructeur. Nous importerons alors le fichier voulu. Ce par le biais de l'option d'importation du menu fichier.

File > Import > EET/Planet 2.x antennas...



Remarquons ici que le TCP reste compatible avec des logiciels de prévision et de planification comme le EET et Planet.

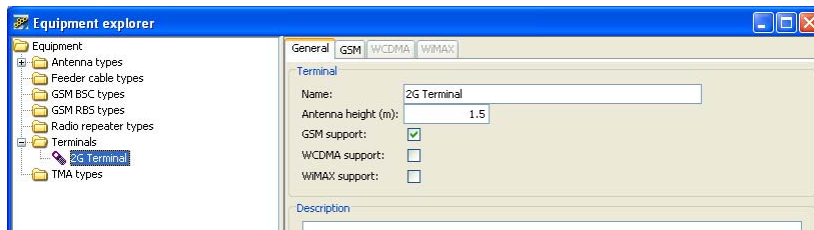
Après cela, nous passons à la configuration de nos équipements.

3. Explorateur d'équipement

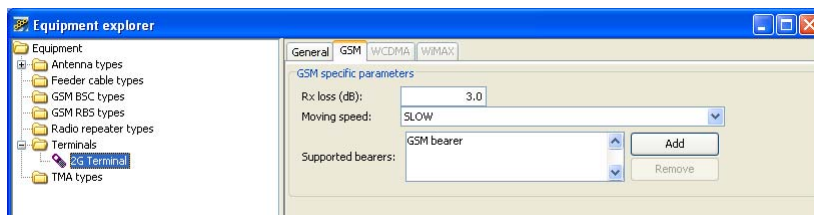
L'explorateur d'équipement nous donne la liste des équipements utilisés, ainsi qu'un moyen rapide d'en configurer chaque caractéristique. Il est accessible par le menu « Utilities » ou par le raccourci correspondant [Ctrl+E].

Nous procéderons dans cette étape à l'ajout de terminaux et à la vérification de notre antenne.

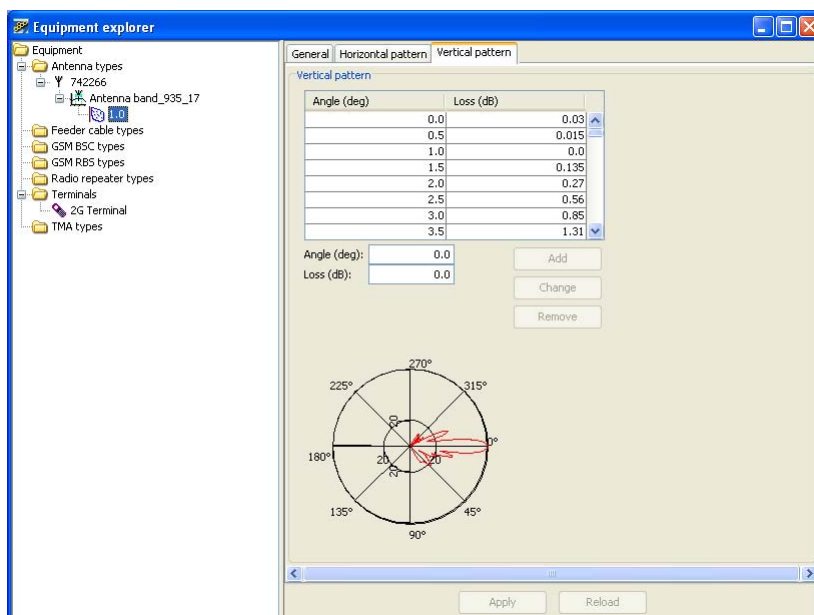
Un terminal sera donc ajouté au groupe « Terminals » et sera ainsi configuré. Après l'avoir nommé, nous définissons le paramètre "hauteur" de son antenne, ainsi que la connectivité qu'il supporte. Ici, ce sera GSM.



Dans l'onglet GSM, nous entrons le niveau de perte RX (pouvant être le Body loss), ainsi que la vitesse de déplacement supposée du mobile. Enfin, nous ajoutons les porteuses supportées et auxquelles il pourrait se connecter.



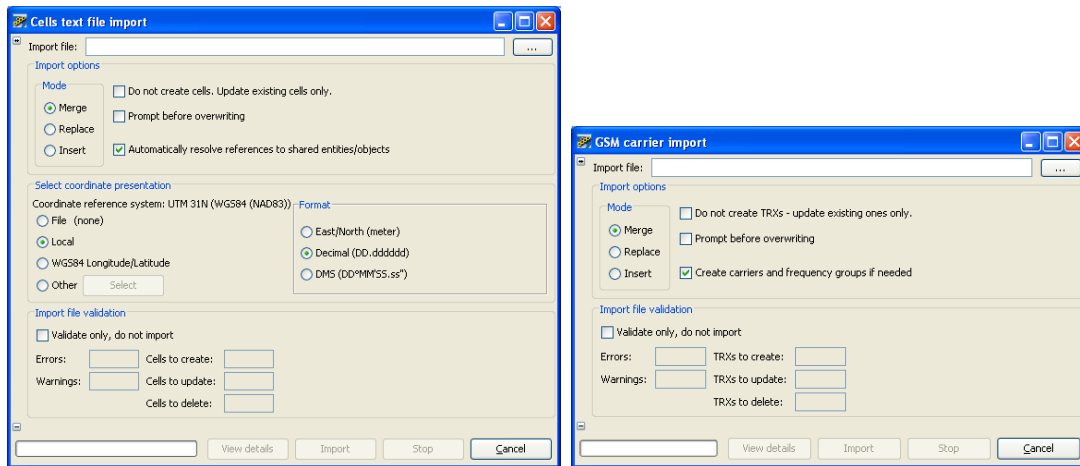
Ceci fait, nous jetons un œil à notre antenne désormais située dans le groupe « Antenna types » du panneau gauche.



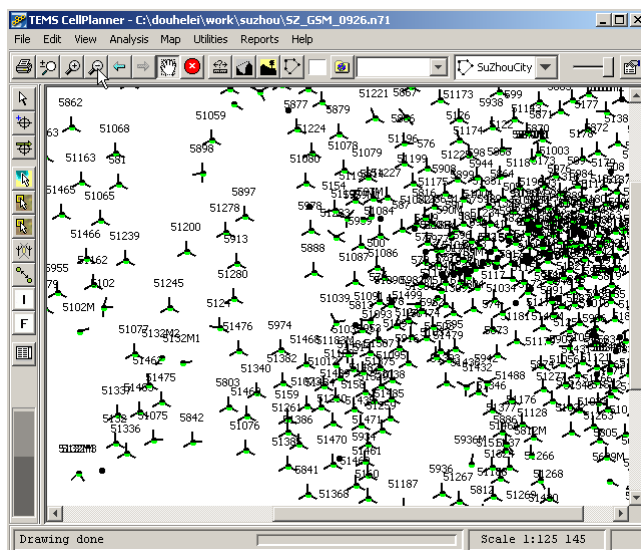
Remarque : on pourrait, dans le besoin, importer d'autres types d'antennes, ou même en créer de nouvelles et originales.

4. Cellules et porteuses pour réseaux existants

Le cas où on aurait des paramétrages de cellules et de porteuses déjà définies pour un réseau existant, leur importation se ferait par « Cell text file » et « GSM carrier text file » du sous-menu « Import » du menu « File ».



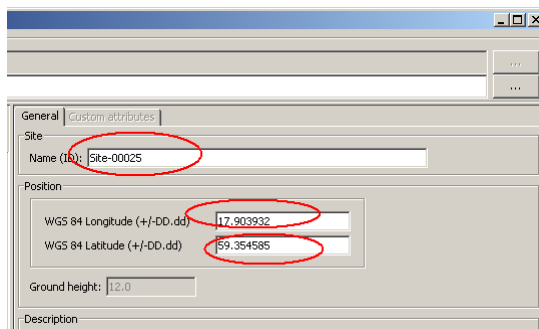
Après cette importation, nous pouvons voir les sites sur la carte.



5. Ajout de sites en utilisant « Site Templates »

Nous ouvrons l'explorateur de sites dans le menu « Utilities » ou par le raccourci [Ctrl+S].

Dans la liste des sites à gauche, nous faisons un clic droit sur le groupe parent et choisissons « Add Site using > Site template ». Nous nommerons et positionnerons alors notre site.



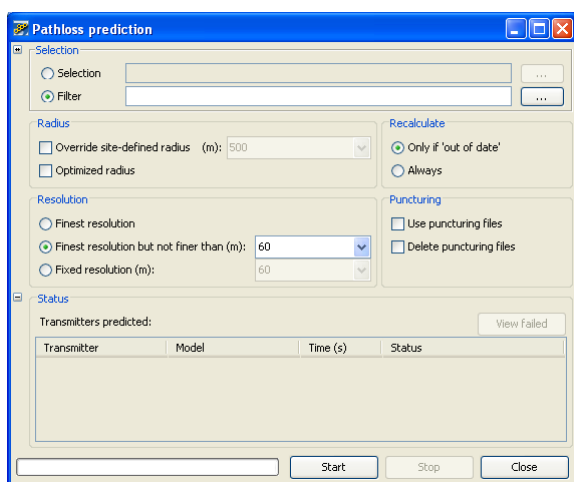
Remarque :

La possession de modèles préétablies est indispensable ici. Dans le cas contraire, la création de modèles personnalisés est possible.

5. Calcul du pathloss

La partie configuration terminée, nous pouvons enfin voir et tirer profit du logiciel de prédiction et de planification.

Nous commencerons par calculer le pathloss. Ce qui est relativement simple et qui se fait par le biais de « Calculate pathloss » du menu « Analysis ».

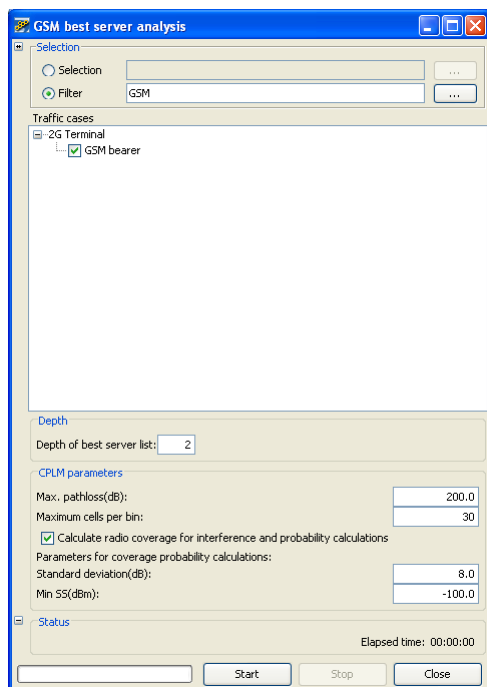


Il est à spécifier la finesse (ou la résolution) du résultat, sans oublier la fréquence de "re-calcul". Le logiciel ne recalculera le pathloss pour une cellule que si les données ne sont plus valides.

Ensuite, après le remplissage des champs de paramètres, nous aurons notre résultat.

6. Recherche du meilleur serveur

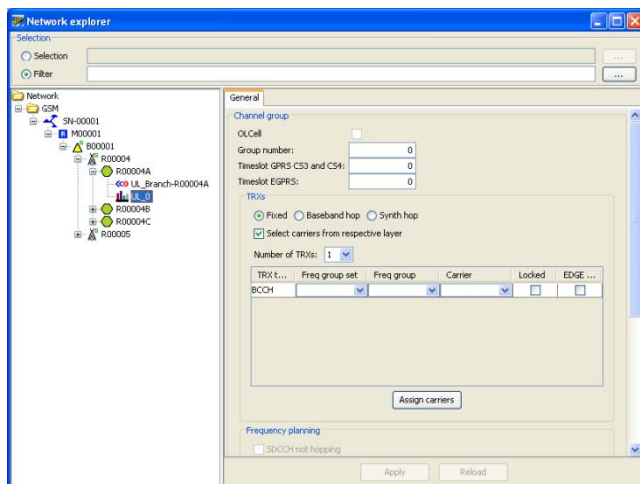
« Analysis > GSM > Calculate best server... »



Il n'est, ici, qu'à spécifier le réseau et de lancer l'analyse.

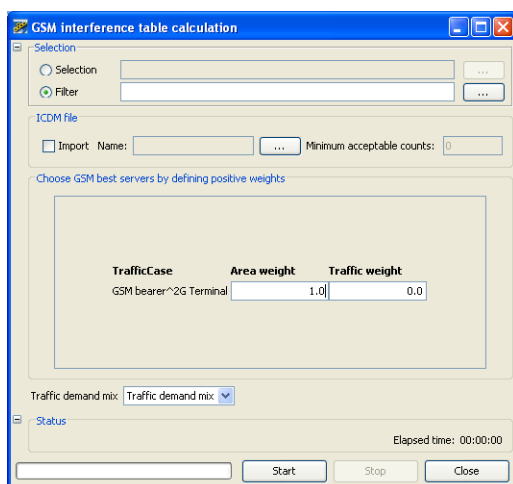
7. Planification manuelle des fréquences

Il est à remarquer que nous pouvons définir les canaux BCCH et TCH manuellement pour chaque cellule. Ainsi, nous pourrions minimiser les interférences dans le réseau.



8. Table d'interférences

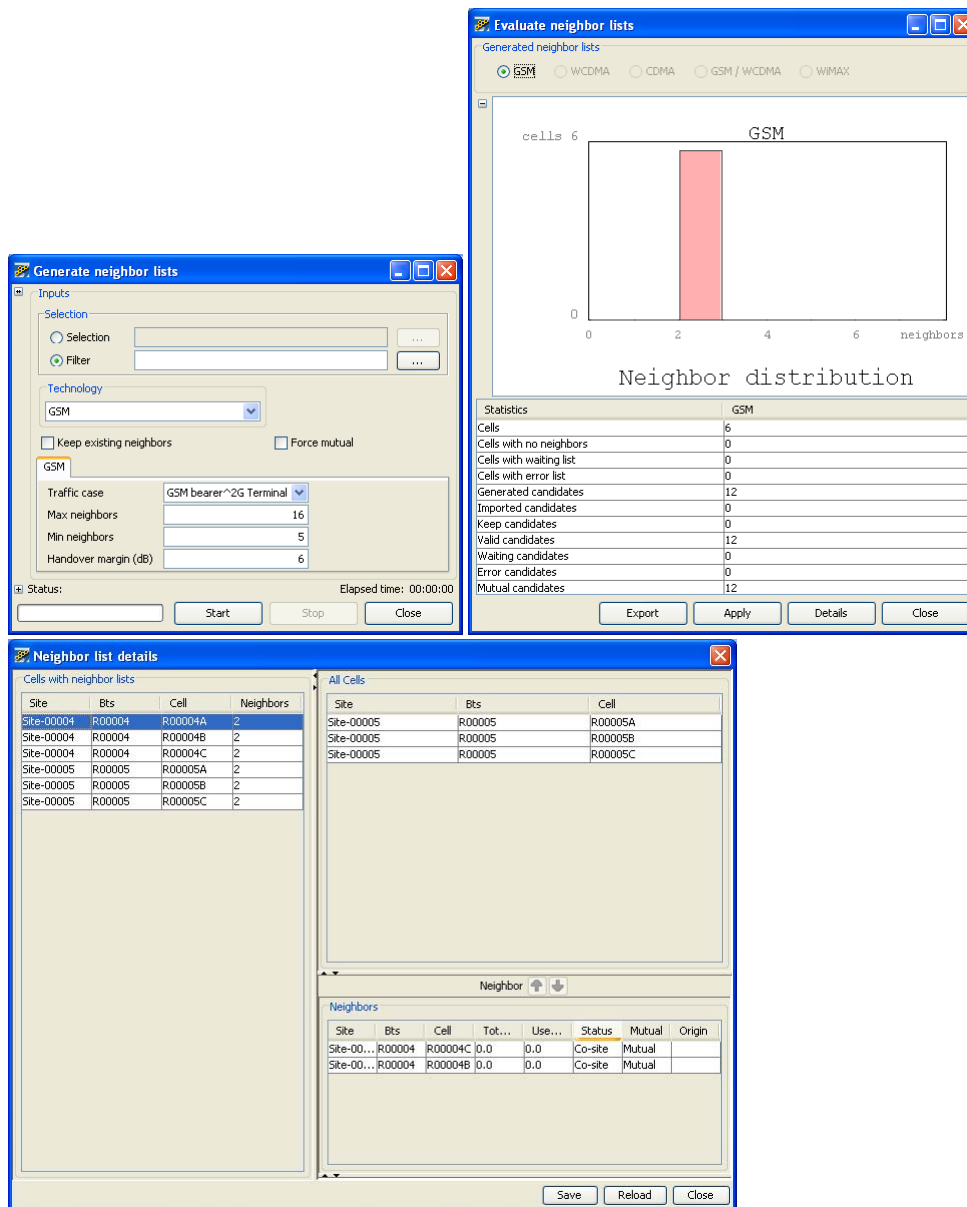
« Analysis > GSM > Calculate interference table... »



9. Génération de la liste de "voisines"

« Analysis > GSM > Generate neighbor lists... »

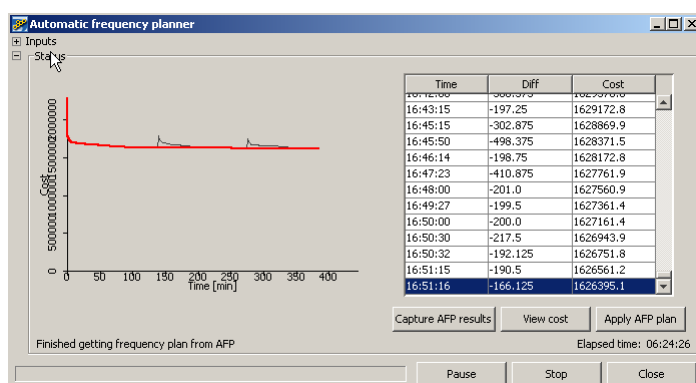
Nous choisissons la technologie GSM et lançons l'analyse.



10. Planification automatique des fréquences

« Analysis > GSM > AFP... »

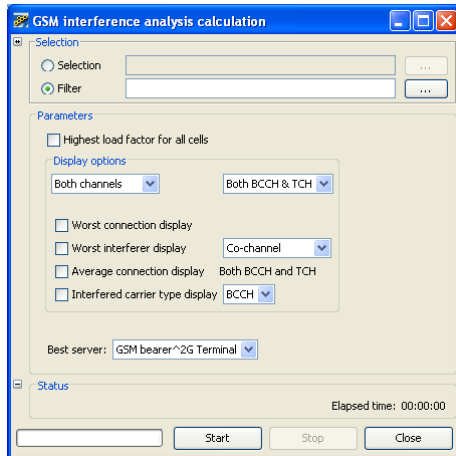
Ici, nous avons à sélectionner la bande et un model de séparation. Remarquons qu'il est possible de définir notre propre modèle et de le sauvegarder pour un usage ultérieur. Et qu'il est aussi possible de charger un modèle antérieurement défini.



Après le lancement de l'analyse, nous voyons que le "coût" diminue progressivement, mais que la vitesse de cette diminution est réduite au fur et à mesure. Quand enfin il se stabilise, nous pouvons appliquer l'AFP.

11. Calcul gestion des interférences

« Analysis > GSM > Calculate interference data... »



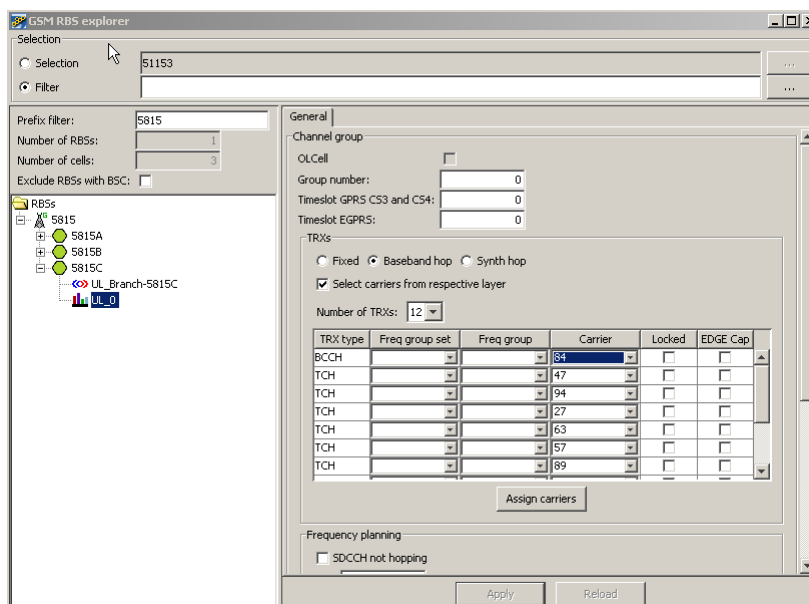
Nous choisissons ici l'affichage désiré.

Après avoir eu la représentation, il se peut qu'on ait une trop grande interférence en une zone spécifique. Ceci se traduit par une forte couleur rouge. Si la région est trop large, nous devons remédier au problème en repérant et en changeons la porteuse incriminée.

Ceci se fait en survolant la zone rouge avec le pointeur et en lisant les informations données instantanément dans la barre d'état.

On note ainsi le numéro de la porteuse et nous ouvrons l'explorateur d'RBS GSM.

« Utilities > GSM RBS explorer », [Ctrl+G].



En ce dernier, nous partons voir, dans la cellule notée, la porteuse causant problème.

Remarquons que nous pouvons trouver le site en question en entrant son numéro identifiant dans la zone de texte « Prefix filter ».

Nous sélectionnons ainsi la cellule et changeons la fréquence.

Opérations intéressantes

Outre l'ajout de cellules, de sites et de porteuses ainsi que tous leurs paramètres par l'import de fichiers bien établi, il peut être utile, voir même constructif de créer soi-même son réseau.

L'outil TCP offre la possibilité de créer des types de BSC, RBS, de personnaliser les antennes en ajoutant des types de feeders, de TMA ou d'ASC. Ainsi, on créerait ses propres cellules, définissant les fréquences y étant utilisées. Ces paramètres sont entièrement personnalisables et le maniement des sites offre une très grande liberté d'action.

Le TCP nous permet aussi de réaliser des optimisations sur les composants réseau, sur le BSIC, le HSN et le MAIO.

Avec cette plateforme, il nous est aussi possible de voir en temps réel le trafic ainsi que la charge du réseau. Il offre un outil de virtualisation temps-réel du handover et des interférences de liaison vers un terminal.

Son évolution va même vers l'intégration du projet dans les grandes cartes en ligne telles GoogleEarth ou LiveMaps afin de "réellement voir" sa réalisation.

INFORMATIONS JURIDIQUES

TEMS™ © Ericsson AB 2009, tous droits réservés.

TEMS est une marque commerciale de Telefonaktiebolaget L M Ericsson.

Toute autre marque commerciale est propriété exclusive de son propriétaire.



TEMS™ CellPlanner 8.0.0

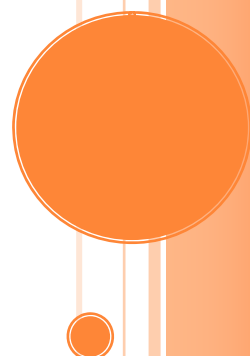
This product is licensed
Product ID: b000da13-1ee2-
11b2-bd54-b3689e5d9a59



www.ericsson.com/tems

© Ericsson AB 2009-2008. All rights reserved. TEMS is a trademark of Telefonaktiebolaget L M Ericsson. All other trademarks are the property of their respective holders.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Ouslimani Smail, Laichour Hassane ; Étude de la transmission GSM ; promotion 2006 ; UMMTO
- [2] Boutiouta Aboubakr ; Sécurité et gestion de la mobilité dans le réseau GSM ; promotion 2006 ; ABDELHAFID BOUSSOUF (Oran)
- [3] Le réseau GSM, TuTelNet, version 1 - © ENIC 2000
- [4] Planification et dimensionnement de réseaux GSM et UMTS, TuTelNet, version 1, © ENIC 2000
- [5] RF Guidelines 900 © Ericsson Radio Systems AB 1998 (Classed Commercial in Confidence)
- [6] RF Guidelines 1800 © Ericsson Radio Systems AB 2000 (Classed Commercial in Confidence)
- [7] RF Guidelines DSC1800 © Ericsson Radio Systems AB 1996 (Classed Commercial in Confidence)
- [8] GPRS ; Alain DESEINE ; 1999
- [9] Fabrice Valois ; Architecture Protocolaire des réseaux mobiles (BSS) (4TC-ARM) ; 2004
- [10] Simon Znaty - EFORT ; GPRS - Principes et Architecture
- [11] Région Aquitaine ; GPRS (2.5G)
- [12] Alain Deseine ; GPRS ; 1999
- [13] GPRS and UMTS (T-110-300-301)
- [14] Frédéric Payan - Département R&T - IUT de Nice Côte d'Azur ; GSM
- [15] Prof. Dr. Claudia Linnhoff-Popien et Peter Ruppel ; GSM et UMTS ; 2007
- [16] Assia TOUMI, Houda KHEDHER, Taib MASMOUDI, Tunisie Télécom ; IRES - mécanismes d'aide à l'analyse et l'optimisation du réseau GPRS ; 2006
- [17] CNAM ; Le GSM
- [18] Telecom & Management, SudParis ; Les communications mobiles - GSM, GPRS et UMTS
- [19] WWF - Media animations ; Moobx - Projet éducatif sur le GSM et la consommation durable
- [20] Overview of GSM, GPRS and UMTS (Cisco Mobile Exchange Solution Guide)
- [21] JL Langlois ; Poly sur GPRS
- [22] Bouygues Telecom ; Presentation problématique des operateurs mobiles
- [23] Adrien Van Den Bossche - ESEO - Toulouse 2 - Thèse doctorale ; Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles
- [24] Michel Terré ; RadioCommunications CDMA - v7.0 - Cours du CNAM
- [25] Géomatique Suisse ; Réalisation d'un serveur de corrections GPS accessible par GPRS ; 2006
- [26] Pierre LISSARD ; Télécommunications (Électronique des hautes fréquences, optoélectronique - thèse doctorale) ; 2004
- [27] IUTG 1 ; TP1 - Étude d'un réseau GSM à l'aide d'un mobile de trace - LPRO - Réseaux sans fils et sécurité ; 2008)
- [28] Hazar Aouad ; Transport de flux temps réels dans un réseau IP mobile (Informatique et Réseaux - thèse doctorale - ENST)
- [29] GSM – GPRS – UMTS ; Franck PERRAUD, Emmanuel WEISS, Baptiste MERCIER ; DESS IIR Réseaux
- [30] Qualité de service GPRS ; G. TREBBIA ; 2003
- [31] Le GPRS ; CARMONA Clément, GARCIA Jean-Michel, ROUBEAU Julien ; 2005
- [32] Réseaux mobiles ; Christian Attiogbé ; 2004 ; Faculté des Sciences et Techniques de Nantes
- [33] Principe de fonctionnement des réseaux de téléphonie mobile GSM ; Willy PIRARD ; Institut Scientifique de Service Public (ISSeP)
- [34] Le réseau GSM ; AERNOUTS Ludovic ; 1999 ; Cnam de Lille
- [35] Planification et ingénierie des réseaux de télécoms - Séquence 3 - Gestion de l'itinérance, de la sécurité et des appels ; Emmanuel TONYE, Landry EWOUSSOUA ; Université de Yaoundé 1, République du Cameroun
- [36] Structure et fonctionnement du réseau GSM ; Jean-Philippe MULLER ; 2000
- [37] Présentation structure de trames GSM ; LICM

- [38] GPRS ; LICM
- [39] *Wikipedia*
<http://fr.wikipedia.org/> (version française)
<http://en.wikipedia.org/> (version anglaise)
- [40] *Comment Ça Marche ?*
<http://www.commentcamarche.net/>
- [41] *Mémoire Online*
<http://www.memoireonline.com/>
- [42] *Présentation de la norme GSM*
http://perso.telecom-paristech.fr/~vallet/dom_com/Coste/intro.html
- [43] *Technologue Pro*
<http://www.technologuepro.com/gsm/>
- [44] <http://edi2004.web.ugm.ac.id/telecomm/gsm/e/frame.htm>
- [45] <http://fr.tech-faq.com/>
- [46] *GSM For Dummies*
<http://www.gsmfordummies.com/intro/intro.shtml>
- [47] <http://pagesperso-orange.fr/huralu/monitoring/>
- [48] *Techno Assistance Formation*
<http://www.ta-formation.com/>
- [49] <http://pt.com/page/tutorials/>
- [50] *explic*
<http://www.explic.com/>