

# LES RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE

## I. LE GSM

*Par Michèle Germain  
Présidente de l'atelier d'écriture de Forum ATENA*



Le GSM ? On dira à l'heure de la 4G que le Professeur Atena ne fait pas dans la modernité... mais laissons-lui prendre dans l'ordre les évolutions de la radio mobile, le GSM étant la base de toute la téléphonie mobile, avant d'aborder les technologies les plus récentes.

***La lecture de ce livre blanc de la collection « Professeur ATENA » ne requiert aucune base technique. Toutefois, il est conseillé de maîtriser quelques notions de radio, par exemple, lire en préambule le livre blanc « Les bases de la radio » du Professeur ATENA.***

## Un livre blanc de Forum ATENA

---

## SOMMAIRE

---

<b>LES RÉSEAUX DE TÉLÉPHONIE MOBILE .....</b>	<b>1</b>
<b>I. LE GSM .....</b>	<b>1</b>
<b>1. QU'EST-CE QUE LE GSM ? .....</b>	<b>4</b>
1.1. POURQUOI LE GSM ? .....	4
1.2. NAISSANCE DU GSM .....	4
1.3. STRUCTURE DU RÉSEAU .....	4
1.4. SERVICES ET TÉLÉSERVICES .....	4
<b>2. ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME GSM .....</b>	<b>5</b>
2.1. LE SOUS-SYSTÈME RADIO .....	6
2.1.1. <i>La BTS</i> .....	6
2.1.2. <i>La BSC</i> .....	6
2.1.3. <i>L'antenne</i> .....	6
2.2. LE SOUS-SYSTÈME RÉSEAU .....	7
2.2.1. <i>Le MSC</i> .....	7
2.2.2. <i>Le HLR</i> .....	8
2.2.3. <i>Le VLR</i> .....	8
2.2.4. <i>L'AUC</i> .....	9
2.3. LE SOUS-SYSTÈME EXPLOITATION .....	9
2.3.1. <i>L'OMC et le NMC</i> .....	9
2.3.2. <i>L'EIR</i> .....	9
2.4. LES TERMINAUX .....	9
<b>3. DÉFINITION DE L'INTERFACE AIR .....</b>	<b>11</b>
3.1. UTILISATION DES FRÉQUENCES .....	11
3.2. LE CANAL RADIO .....	11
3.2.1. <i>Notion de canal radio</i> .....	11
3.2.2. <i>Définition des canaux logiques</i> .....	11
3.2.3. <i>Affectation des canaux radio aux BTS</i> .....	12
3.3. LA CHAÎNE DE CODAGE .....	12
<b>4. LA GESTION DE LA MOBILITÉ .....</b>	<b>12</b>
4.1. L'INSCRIPTION .....	12
4.1.1. <i>Les zones d'inscription</i> .....	12
4.1.2. <i>L'inscription d'un terminal</i> .....	13
4.1.3. <i>Gestion des appels</i> .....	13
4.2. CONTINUITÉ DE SERVICE ET HAND-OVER .....	13
4.2.1. <i>Le choix d'une cellule au démarrage</i> .....	13
4.2.2. <i>La resélection de cellule</i> .....	14
4.2.3. <i>Le handover</i> .....	14
<b>5. LA SÉCURITÉ .....</b>	<b>14</b>
<b>6. LA PLANIFICATION RADIO .....</b>	<b>15</b>
6.1. LES GRANDES QUESTIONS .....	15
6.2. INGÉNIERIE CELLULAIRE .....	16
6.2.1. <i>Taille des cellules</i> .....	16
6.2.2. <i>Implémentation des relais</i> .....	16
6.3. CONFIGURATION DES RELAIS .....	17
6.3.1. <i>Puissance de la BTS</i> .....	17
6.3.2. <i>Capacité de la BTS</i> .....	17
6.4. ALLOCATION DES FRÉQUENCES .....	17
6.5. LES ESSAIS TERRAIN .....	18
6.6. DES COUVERTURES PARTICULIÈRES .....	18
6.6.1. <i>La superposition de cellules</i> .....	18
6.6.2. <i>La couverture des zones confinées</i> .....	19
6.7. VIE ET SUPERVISION DU RÉSEAU .....	19
<b>7. LA SUITE DU GSM .....</b>	<b>19</b>

<b>8. GLOSSAIRE.....</b>	<b>20</b>
<b>9. BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>21</b>
<b>10. A PROPOS DE L'AUTEUR.....</b>	<b>21</b>

---

## 1. QU'EST-CE QUE LE GSM ?

---

### 1.1. POURQUOI LE GSM ?

Le début des années 1980 fut marqué en France par l'ouverture du réseau radio analogique de 1<sup>ère</sup> génération (1G) Radiocom 2000. Celui-ci offrait un service de radio téléphonie mobile avec des terminaux lourds et encombrants. Le temps de connexion vers les abonnés filaires était long. L'abonnement et les terminaux étaient chers. De plus, franco-français, Radiocom 2000 n'était utilisable qu'à l'intérieur de nos frontières. La situation dans les autres pays était la même avec partout des réseaux nationaux incompatibles.

A la même époque, il fut décidé d'aller plus loin en ouvrant un service de téléphonie mobile numérique qui répondrait à différents objectifs :

- services de télécommunications compatibles avec ceux des réseaux filaires,
- compatibilité d'accès dans tout pays pourvu d'un réseau de radiotéléphonie,
- localisation automatique des usagers sous la couverture de n'importe lequel de ces réseaux,
- grande variété de terminaux produits par divers industriels,
- coûts des terminaux et des abonnements compétitifs,
- évolutivité.

Ce fut le début des études qui aboutirent au GSM.

### 1.2. NAISSANCE DU GSM

Première norme de téléphonie cellulaire numérique, le GSM fut défini par un groupe de travail « Groupe Spécial Mobile » lancé par la CEPT. La rédaction du standard fut réalisée par l'ETSI et au final, le GSM, devenu « Global System for Mobile communications » naquit en 1991.

Par opposition aux anciens réseaux analogiques, le GSM fut qualifié réseau de 2<sup>ème</sup> Génération (2G).

En France, la DRM (Direction des Radiocommunications Mobiles) des Postes & Télécommunications ouvrit le réseau Itinérés le 1<sup>er</sup> juillet 1992.

Le GSM connut rapidement un vif succès. Les terminaux tout d'abord lourds et encombrants se miniaturisèrent et gagnèrent en autonomie. Les prix se démocratisèrent.



**Un des premiers mobiles GSM**  
Photo Matra Communications

### 1.3. STRUCTURE DU RÉSEAU

Un réseau GSM est de type cellulaire (cf. <Réf. 3>), c'est-à-dire composé d'une multitude d'émetteurs-récepteurs radio, chacun d'entre eux définissant une cellule, soit une zone où le service GSM est accessible aux terminaux qui y sont présents.

### 1.4. SERVICES ET TÉLÉSERVICES

#### • *Téléservices*

Si la fonction essentielle du GSM est la communication de phonie, il permet également l'envoi de courts messages (SMS) et la transmission de données en mode circuit<sup>1</sup> à 9,6 kbits/s.

#### • *Services*

Pour répondre aux besoins exprimés ci-dessus, le GSM offre un service de communication entre usagers mobiles, et aussi entre usagers mobiles et usagers du réseau téléphonique.

Il propose un sous-ensemble des services complémentaires définis par le RNIS :

---

<sup>1</sup> Le mode circuit, que l'on opposera au mode paquet, utilise de manière exclusive un circuit de communication pendant toute la durée de la transaction, même si le débit nécessaire est inférieur au débit maximum du circuit. En mode paquet, par contre, un circuit de communication peut être partagé par plusieurs transactions qui vont pouvoir l'utiliser à pleine capacité.

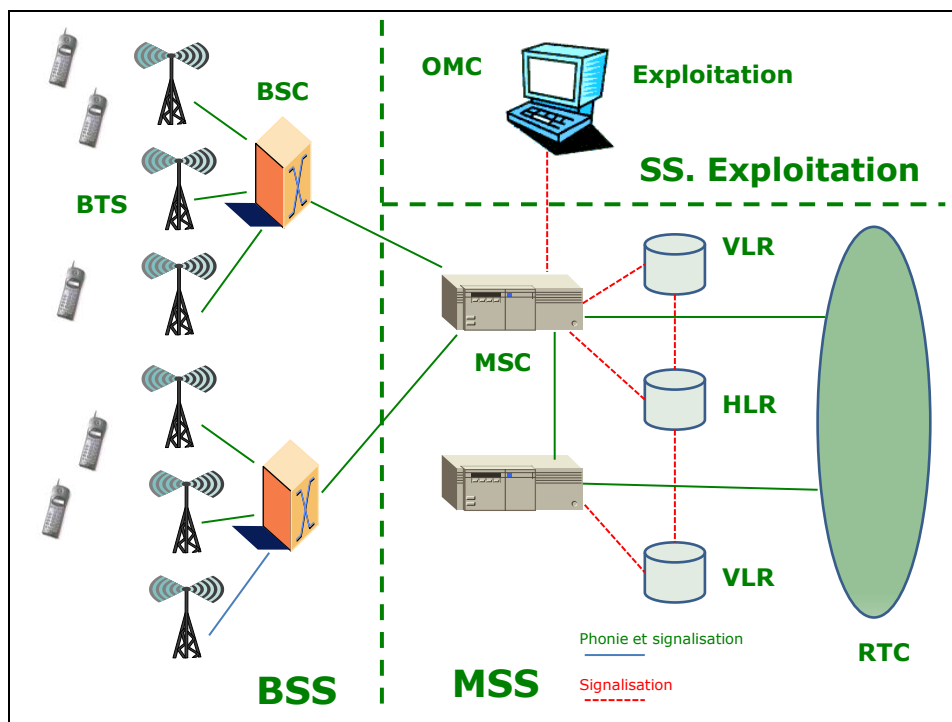
- renvoi d'appel,
- présentation d'appel en instance,
- conférence à 3,
- mise en attente (en garde) d'un appel,
- présentation du numéro de l'appelant,

pour ce qui est des principaux.

Un usager donné peut accéder à l'ensemble des services qui lui sont autorisés dans n'importe quelle cellule du réseau, c'est ce qu'on appelle le **roaming**. Toutefois, dans le monde des opérateurs GSM, le terme de roaming est plutôt utilisé pour définir la capacité qu'a un usager d'accéder aux services d'un réseau qui n'est pas le sien, en particulier à l'étranger. Ces deux définitions sont valables.

Si en cours de communication un usager change de cellule, sa communication est récupérée par la cellule de destination sans que l'utilisateur ne ressente la moindre coupure. C'est ce qu'on appelle le **handover**.

## 2. ARCHITECTURE D'UN SYSTÈME GSM



L'architecture d'un système GSM se décompose en trois sous-systèmes :

- Le sous-système radio (BSS)
  - Il gère la partie radio des communications et se compose d'émetteurs-récepteurs radio (BTS) contrôlés par une BSC.
- Le sous-système réseau (NSS)
  - Il gère le traitement des appels, la mobilité et l'acheminement de/vers les réseaux filaires. Il se compose de commutateurs radio (MSC) et d'un certain nombre de bases de données HLR et VLR.
- Le sous-système exploitation
  - Il contrôle les droits d'accès au réseau, les droits des usagers et assure l'interface homme-machine d'exploitation. Il gère aussi le maintien en conditions opérationnelles du réseau et la remontée des alarmes.

## 2.1. LE SOUS-SYSTÈME RADIO

### 2.1.1. LA BTS

La BTS (Base Transceiver Station) est un ensemble d'émetteurs-récepteurs radio (TRX), sans grande intelligence. Elle gère la couche physique de l'interface air :

- codage,
- modulation,
- correction d'erreurs,
- mesures de signal radio,
- multiplexage
- chiffrement du segment radio avec le mobile, pour garantir la confidentialité de la communication en cas d'écoute hertzienne.

La zone de rayonnement de l'antenne de la BTS définit la cellule.

Chaque TRX gère un canal radio TDMA/8 qui peut supporter 8 communications.

La BTS gère également l'interface et le dialogue avec la BSC.

### 2.1.2. LA BSC

Chaque BTS est raccordée à une BSC, et une seule, au moyen d'une liaison filaire MIC. Inversement, une BSC peut raccorder plusieurs BTS. Chaque BSC est également raccordée à un MSC, et un seul.

Contrairement à la BTS, la BSC est un organe intelligent.

- Elle gère les ressources radio (allocation/désallocation de canal) au niveau des BTS en fonction de l'établissement et de la libération des communications.
- Elle exploite les mesures réalisées par les BTS, notamment la mesure du signal radio émis par les mobiles. Cela permet d'asservir la puissance émise par le terminal en fonction de sa distance à l'antenne (plus il est proche, moins sa puissance d'émission est importante), et également de détecter la nécessité de faire un handover.
- Elle assure également la concentration des communications sur interface avec le MSC.

Le monde téléphonique, généralement numérique, code la parole sur des circuits à 64 kbits/s (un IT MIC supporte un seul circuit de phonie). Un tel débit n'est pas réaliste sur l'interface air et par conséquent, la BSC gère également<sup>1</sup> le transcodage de la parole 64kbits/s de/vers un codage 16 kbits/s utilisé entre la BSC et la BTS, afin d'optimiser les liaisons MIC entre la BTS et la BSC (un IT MIC supporte quatre circuits de phonie). Ce codage sera ensuite adapté par la BTS à 13 kbits/s sur l'interface air.

### 2.1.3. L'ANTENNE

N'oublions pas l'antenne qui est le complément naturel de la BTS.

#### • Configuration de couplage

Nous verrons un peu plus loin qu'une BTS gère souvent plusieurs canaux radio. En toute rigueur, il en faudrait une par canal et par sens (montant descendant). Par chance d'ingénieurs équipements nous en dispensent :

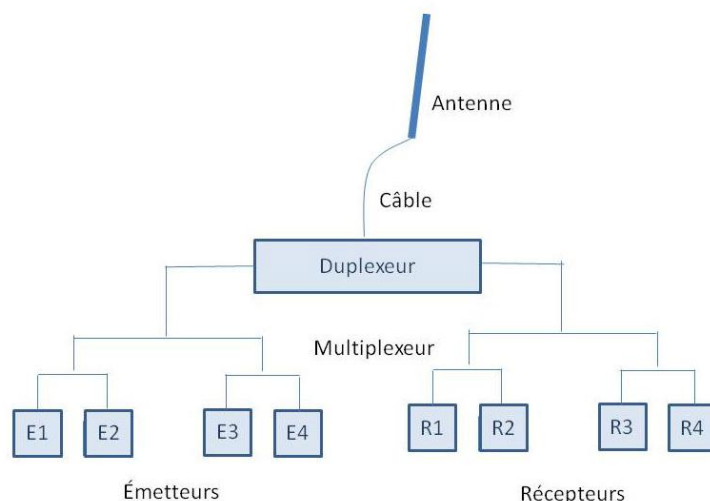
Le duplexeur permet d'acheminer les canaux montants et descendants sur une même antenne.

Le multiplexeur concentre plusieurs canaux sur une même antenne en les couplant deux à deux. Ceci n'est pas sans inconvénient, car chaque étage de couplage introduit une perte de quelques décibels (typiquement 3 dB), nécessitant une augmentation en conséquence de la puissance de l'émetteur.

Le schéma ci-dessous montre une configuration d'antenne pour 4 canaux radio. Les émetteurs et récepteurs sont couplés deux par deux sur deux étages (introduisant ainsi une perte de 6 dB). Les branches émission et réception sont renvoyées vers un duplexeur d'où sort le câble coaxial qui monte à l'antenne.

---

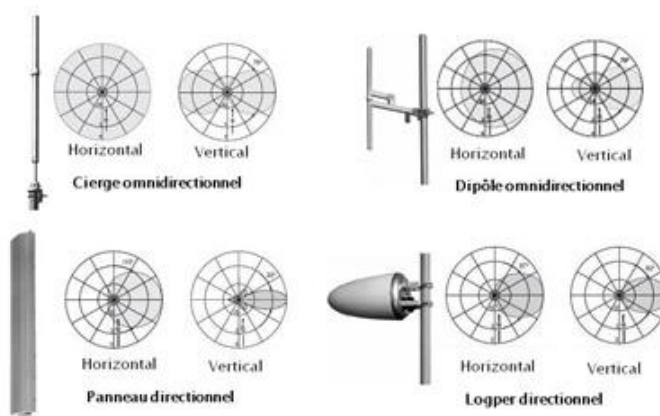
<sup>1</sup> Généralement. La norme GSM n'impose rien quant à l'implantation de cette fonction qui est « traditionnellement » logée dans la BSC.



### Couplage sur antenne des canaux radio

- **Choix et installation de l'antenne**

Les réseaux GSM utilisent des antennes omnidirectionnelles (qui rayonnent dans toutes les directions) ou des antennes directionnelles (qui rayonnent dans une direction privilégiée), selon les besoins.



Modèles d'antennes (document Kathrein)

Une antenne est caractérisée par un diagramme de rayonnement qui définit la forme de son rayonnement dans les trois dimensions. Il s'agit de la forme et non de la distance qui, elle, sera fixée par la puissance d'émission. Pour connaître la forme de la couverture au sol, il convient de tracer l'intersection du graphe avec le plan horizontal... et on a de fortes chances de ne rien trouver du tout ! Pour que cette intersection soit non nulle, l'antenne est inclinée sur sa verticale et dans l'axe vertical du graphe selon un angle appelé **tilt**.

Une antenne est également caractérisée par son gain, c'est-à-dire l'amplification qu'elle applique au signal émis ou reçu.

## 2.2. LE SOUS-SYSTÈME RÉSEAU

### 2.2.1. LE MSC

Le MSC est un commutateur radio qui gère l'ensemble des communications dans le réseau GSM :

- communications entre mobiles,
- communications de/vers le réseau téléphonique,
- communications de/vers d'autres réseaux GSM,
- communications de/vers des réseaux de transmission de données.

Pour ces trois derniers types de communications, le MSC intègre une fonction de passerelle (gateway) qui assure le passage du monde GSM à un monde externe. Chaque passerelle peut ne pas être présente dans toutes les MSC du réseau.

Un MSC raccorde plusieurs BTS. Chaque MSC est également raccordée à un autre au moins, réalisant ainsi un maillage des MSC dans le réseau GSM. Ceci permet tout d'abord de gérer les communications entre des mobiles gérés par des BTS raccordées à des MSC différents, mais aussi, dans le cas des communications vers d'autres réseaux, pour une MSC non équipée d'un gateway de pouvoir transiter vers une MSC qui en dispose.

Le premier rôle du MSC est la gestion des communications :

- réservation de canal radio,
- identification et authentification de l'utilisateur (appel sortant),
- localisation de l'utilisateur (appel entrant),
- acheminement vers le demandé,
- allocation des ressources filaires,
- taxation des appels et des services de données.

Sa seconde grande fonction est la gestion de la mobilité :

- gestion des inscriptions,
- gestion du handover,
- gestion de la localisation.

Chaque MSC communique avec les deux bases de données HLR et VLR.

### 2.2.2. LE HLR

Le HLR (Home Location Register) est une base de données qui centralise les caractéristiques et les informations de localisation des usagers du réseau GSM.

Le HLR est théoriquement unique, mais sur de gros réseaux il peut être fractionné sur plusieurs unités. Il contient :

- Le numéro IMSI d'identification internationale de l'utilisateur.  
Ce numéro est interne du réseau et non connu de l'utilisateur.  
Il est composé de trois champs :
  - MCC : code pays (ex. 208 pour la France) sur 3 chiffres
  - MNC : code réseau qui identifie l'opérateur dans le pays (ex. 01 pour Orange) sur 2 ou 3 chiffres selon les pays
  - MSIN : numéro de l'utilisateur dans le réseau sur 10 chiffres ou moins. Ce numéro peut selon les réseaux être précédé de 2 chiffres qui désignent le HLR de l'utilisateur.
- Le numéro de téléphone international de l'utilisateur MSISDN, par exemple 33 6 xx xxx xxx.
- Le profil de l'utilisateur, c'est-à-dire le type d'abonnement souscrit, droit aux appels internationaux, droit à certains services supplémentaires.
- Le numéro du VLR où l'utilisateur est localisé (voir ci-dessous).

### 2.2.3. LE VLR

Le VLR (Visited Location Register) est présent dans une zone géographique donnée, gérée par un MSC<sup>1</sup>.

Le MSC est raccordé au VLR qui le supporte.

Chaque VLR peut communiquer avec le HLR des autres MSC. Il contient les mêmes types d'informations que le HLR, mais cette fois relatives aux mobiles physiquement présents dans la zone géographique contrôlée par le MSC. En plus, il contient pour chaque mobile :

- un identifiant temporaire TMSI qui sera utilisé à la place de son numéro IMSI, tout le temps qu'il restera sous contrôle du même VLR,
- sa localisation complète (zone de localisation).

---

<sup>1</sup> Il n'est pas interdit d'avoir un VLR pour plusieurs MSC, mais c'est plus rare.



#### 2.2.4. L'AUC

L'AUC (AUthentication Center) est l'unité qui authentifie les mobiles et qui détient toutes leurs clés d'authentification. Il est associé au HLR.

Le MSC s'adresse à lui lors d'une demande d'inscription pour valider l'accès du mobile au réseau. Il contient aussi les algorithmes d'authentification et de chiffrement utilisés par le réseau

### 2.3. LE SOUS-SYSTÈME EXPLOITATION

#### 2.3.1. L'OMC ET LE NMC

Leur rôle est de contrôler les performances et l'utilisation du système et d'ouvrir une interface homme-machine à l'opérateur responsable de l'exploitation du réseau.

Le NMC (Network Management Center) opère de manière centralisée. L'OMC (Operation and Maintenance Center) effectue une supervision locale des équipements.

Parmi les principales fonctions d'administration, citons :

- la déclaration des abonnés et des terminaux,
- la facturation,
- l'observation de trafic et détection des surcharges,
- la configuration des équipements et des logiciels du réseau,
- la remontée des alarmes,
- etc.

#### 2.3.2. L'EIR

L'EIR (Equipment Identity Register) est la base de données des abonnés. Elle est consultée pour s'assurer de la légitimité d'un mobile. C'est en particulier dans l'EIR que sont identifiés les mobiles volés et interdits d'accès au réseau.

### 2.4. LES TERMINAUX

On parlera indifféremment de mobile, de portable, de poste mobile, de terminal...

Nous n'allons pas nous appesantir, tout le monde en a un dans sa poche, juste rappeler les fondamentaux.

On distingue deux parties :

- **L'appareil**

Il comporte :

- Un émetteur-récepteur qui fonctionne dans les fréquences du GSM dans le pays où il sera utilisé, voire dans d'autres pays en plus.
- Une antenne cachée dans la coque de l'appareil. Nous en avons terminé avec les antennes télescopiques des premiers appareils.
- Des organes de communication (haut-parleur, micro, clavier, afficheur).
- Du logiciel pour faire marcher tout ça.
- Le terminal est identifié par un numéro qui lui est propre, unique dans le monde, attribué par le fabricant et en principe « gravé dans la marbre » de l'appareil<sup>1</sup>. Il est relatif à l'appareil lui-même et n'a rien à voir avec l'abonnement souscrit par l'utilisateur et son numéro d'annuaire.

La puissance d'émission est de 2 W en GSM 900 et de 1 W en GCS 1800 (voir ci-dessous), mais il s'agit d'une puissance maximale, celle-ci étant d'autant plus réduite que le mobile est proche du relais.

- **La carte SIM**

C'est elle qui personnalise le mobile en fixant son numéro d'annuaire (MSISDN) et son identifiant (IMSI). Elle contient aussi des tas d'autres choses comme le code PIN de verrouillage du mobile et un espace de stockage pour l'annuaire, les messages, etc.

---

<sup>1</sup> Les dernières générations implantent cependant ce code unique dans des mémoires, ce qui ouvre la porte à modification potentielle.

Une fonction moins connue de la carte SIM est la sécurité. Il est évident qu'on ne communique pas « en clair » sur un réseau GSM et que les communications sont cryptées entre les mobiles et les relais. Les éléments cryptographiques (clés, algorithmes) sont stockés sur la carte SIM.

---

## 3. DÉFINITION DE L'INTERFACE AIR

---

L'interface air est l'interface radio qui permet de mettre en relation un relais radio et les postes mobiles.

### 3.1. UTILISATION DES FRÉQUENCES

Le GSM fut initialement défini dans la bande de fréquence duplex 900 MHz (890-915/935-960 MHz).

Vu le succès, il fallut ouvrir une seconde bande de fréquences duplex 1800 MHz (1710 -1785/1805-1880 MHz) pour absorber le trafic. Cette variante, nommée DCS 1800 (Digital Communication System 1800 MHz), est parfaitement compatible avec le GSM 900 MHz. Ces deux bandes de fréquence sont utilisées en Europe, en Afrique et en Asie. Les terminaux sont bi-mode pour pouvoir s'adapter automatiquement.

Aux États-Unis et Canada, le GSM utilise des bandes de fréquence 500 et 1900 MHz, ce qui le rend de ce fait incompatible avec les terminaux européens, sauf ceux spécialement conçus pour cet usage.

Il existe d'autres variantes en bande de fréquence dans certains pays, mais celles-ci demeurent marginales.

Chaque canal radio occupe une largeur de 200 KHz dans le sens montant et dans le sens descendant avec un écart duplex de 45 MHz dans la bande 900 MHz et de 95 MHz dans la bande 1800 MHz.

### 3.2. LE CANAL RADIO

#### 3.2.1. NOTION DE CANAL RADIO

- *Le canal physique*

La bande de fréquences allouée est découpée en canaux duplex de 200 MHz, soit 125 canaux dans la bande 900 MHz et 375 canaux dans la bande 1800 MHz. Ces canaux sont répartis entre les différents opérateurs. Ce sont des **canaux physiques**, aussi nommés **porteuses**.

Revenons sur la notion de canal duplex. Prenons par exemple la bande 900 MHz. Elle utilise les fréquences 890-915 MHz dans le sens montant, c'est-à-dire des terminaux vers le relais, et les fréquences 935-960 MHz dans le sens descendant, c'est à dire du relais vers les terminaux. Toujours dans cette même bande, sur 25 MHz on définit 125 porteuses duplex de 200 kHz. On est ici dans un cas de canaux duplex **FDD** (Frequency Duplex Distribution).

Chaque canal est défini par sa fréquence médiane, ou plus couramment par un numéro qui représente son rang sur le spectre : le canal 890-890,2 MHz est le canal 890,1 MHz ou encore le canal 1.

- *Le canal logique*

Chaque porteuse supporte une trame TDMA avec 8 intervalles de temps (IT ou Time Slot TS) qui sont alloués tour à tour à différentes communications. Pour faire simple, un canal 200 MHz supporte simultanément 8 communications. La répétition dans le temps sur une même porteuse de l'IT qui supporte une communication donnée constitue un **canal logique**. Par conséquent, la transmission relative à une communication donnée doit se faire dans la fenêtre de temps qui correspond à l'IT alloué. Elle n'est donc pas continue mais hachée, par **bursts** de 546  $\mu$ s (148 bits).

Pour gérer une communication de type téléphonique sans contrainte pour l'utilisateur, il faut que chacun puisse parler en même temps que l'autre, ce qu'on appelle une communication full duplex. Malheureusement, en radio, il est très difficile de faire les deux en même temps... alors on triche un peu en décalant les canaux montants et descendants de 3 IT (soit  $3 \times 546 \mu$ s). Le sens montant se présente en premier et le mobile est en émission. Puis le mobile se « retourne » pour passer au mode réception 3 IT plus tard quand le sens descendant lui est présenté. Le full duplex se comporte plutôt comme un mode half duplex (à l'alternat) très rapide et transparent à l'utilisateur.

#### 3.2.2. DÉFINITION DES CANAUX LOGIQUES

Les canaux radio sont affectés à différentes fonctions : transport des communications et transport d'informations de contrôle (signalisation).

Nous avons vu ci-dessus un premier type de canal logique, le canal de trafic (TCH Traffic Channel) qui transporte la parole et les données de l'utilisateur.

Un autre canal logique est la voie balise (CCH Control Channel) qui transporte la signalisation associée aux communications, à la gestion de la mobilité et au fonctionnement du relais. Elle est elle-même décomposée en plusieurs sous-canaux, chacun associé à une fonction précise.

Mais qu'est-ce qu'un sous canal ? Certains flux de signalisation ne nécessitent que des échanges de faible volume, et il serait vraiment luxueux de prendre tout un canal pour chacun d'eux. Ils sont donc multiplexés sur un canal unique en utilisant une trame toutes les  $n$  trames. On parle alors de **multitrame**, défini comme la succession d'un IT donné sur des trames successives.

Soucieux de vous épargner des migraines, le Professeur Atena vous fait grâce de la description des sous-canaux. Les curieux la trouveront dans des ouvrages détaillés sur le GSM.

### 3.2.3. AFFECTATION DES CANAUX RADIO AUX BTS

A chaque BTS est affecté un nombre de canaux logiques compatible avec le trafic qu'elle doit assurer. Un de ces canaux est affecté à la voie balise. Les autres sont des TCH.

Le nombre total de canaux est obligatoirement un multiple de 8, nombre d'IT sur le canal physique. Il est de toute façon limité à 16 canaux physiques (16x8 canaux logiques, quand même !) par BTS.

## 3.3. LA CHAÎNE DE CODAGE

Le traitement de l'information passe par différentes étapes :

- *Le codage de la parole*

Cette étape transforme la parole analogique en un signal numérique à 16 kbits/s au moyen d'un équipement nommé **CODEC**. Cette opération est bien sûr sans objet pour la transmission de données.

L'unité est un échantillon de parole de 20 millisecondes qui donne une trame de 260 bits. Les données sont injectées par échantillons de 240 bits (on comble à 260 avec des bits de contrôle).

- *Le codage canal*

Cette opération introduit de la redondance dans la chaîne numérique que l'on veut transmettre. En effet, en radio, il y a des perturbations diverses qui font qu'il y a de très forts risques de perte d'information. L'introduction de redondance fait que si on perd quelques bits en route, on sera capable de les reconstituer.

La trame codée est bien sûr plus longue que la trame brute et fait 456 bits.

- *L'entrelacement*

Le codage ci-dessus introduit une redondance autour de chaque bit codé. Pour éviter qu'une grosse perturbation fasse disparaître à la fois le bit d'origine et les éléments redondants, ceux-ci sont déplacés afin d'être répartis un peu partout le long de la chaîne de bits qui constitue l'information. Bien sûr, ça ne se fait pas n'importe comment, mais selon un algorithme donné, car il faut remettre les choses dans le bon sens à l'arrivée !

La longueur de la trame est inchangée.

- *La constitution de la trame TDMA*

La trame TDMA contient 148 bits, dont 114 utiles, soit le quart d'une trame codée. Pour assurer une meilleure fluidité, chaque trame de parole (456 bits) est répartie non pas sur 4 IT mais sur 8 à moitié remplis, soit sur 8 bursts de transmission. Comme en radio on n'aime pas « gâcher » de la ressource, chaque burst est combiné avec un demi-burst des 20 ms précédentes ou des 20 ms suivantes, afin de transmettre un burst complet.

- *Émission*

Les canaux radio sont assemblés, dans oublier la voie balise avec ses sous-canaux, pour constituer la multitrame. Celle-ci, une fois modulée est transmise aux organes émetteurs (BTS, antenne).

Le GSM utilise une modulation de phase de type GMSK qui a le double avantage d'être simple et robuste vis-à-vis des perturbations (voir <Réf. 3>).

---

## 4. LA GESTION DE LA MOBILITÉ

---

### 4.1. L'INSCRIPTION

#### 4.1.1. LES ZONES D'INSCRIPTION

La base de tout réseau est la cellule, sur laquelle un mobile doit s'inscrire pour être autorisé à accéder aux services du réseau. Ceci génère un flux d'informations entre les BTS et les MSC et vu le nombre d'utilisateurs du réseau et le nombre de cellules, ceci peut finir par faire beaucoup de volume.

Pour pallier cet inconvénient, plusieurs cellules sont regroupées dans une **zone de localisation**, qui regroupe quelques cellules, voire quelques dizaines de cellules. Une condition est que toutes les BTS qui définissent les cellules de la base de localisation soient rattachées au même MSC.

L'inscription du mobile se fait donc dans la zone de localisation, mais le réseau ne sait pas exactement dans quelle cellule il se trouve, ce qui est gênant pour lui présenter une communication car celle-ci doit être acheminée vers la BTS où il se trouve et non vers une autre...

Donc, quand une communication se présente pour un usager localisé dans une zone de localisation donnée, un « avis de recherche » est diffusé sur toutes les cellules de celle-ci. Le mobile qui se reconnaît se signale auprès de la BTS qui elle-même se signale au MSC pour que la communication lui soit acheminée.

#### 4.1.2. L'INSCRIPTION D'UN TERMINAL

Chaque BTS transmet sur la voie balise son identité et l'identité de la zone de localisation à laquelle elle appartient. Cette information est supervisée par le mobile. Quand il s'aperçoit qu'il a changé de zone de localisation, il entreprend une opération d'inscription auprès de celle-ci.

L'inscription commence par une procédure d'**authentification** qui consiste à vérifier l'identité et les droits du mobile : s'il est autorisé à utiliser le réseau, s'il n'est pas interdit de trafic (mobile volé), etc.

Une fois le mobile authentifié, sa localisation (zone de localisation), deux cas peuvent se produire :

- *La nouvelle zone de localisation est contrôlée par le même MSC que celle qu'il vient de quitter :*

Il suffit de mettre sa localisation à jour dans le VLR

- *La nouvelle zone de localisation est contrôlée par un autre MSC :*

Il faut supprimer les caractéristiques du mobile dans le VLR qui contrôle la zone de localisation quittée, puis, depuis son HLR, rapatrier les caractéristiques du mobile dans le VLR du MSC qui contrôle la nouvelle zone de localisation et y stocker sa localisation sous forme de zone de localisation. De même, dans le HLR, il fait indiquer la localisation sous forme d'identité du MSC qui gère le nouveau VLR.

Il y a aussi cet autre cas où le mobile change de cellule tout en restant dans la même zone de localisation. Ceci ne donne pas lieu à une nouvelle inscription, puisque vu du VLR il n'y a pas de changement.

Une fois ces opérations accomplies, le mobile est prêt à utiliser les services du réseau.

Il existe toutefois une exception pour les services d'urgence qui peuvent être appelés même si le mobile n'est pas inscrit. Simple raison de bon sens : on ne va pas attendre que le mobile soit inscrit pour appeler les pompiers s'il y a le feu.

#### 4.1.3. GESTION DES APPELS

##### • Appel entrant

Lorsqu'un appel est destiné à un mobile, celui-ci est tout d'abord dirigé vers le MSC qui supporte son HLR. Il y trouve l'identité du MSC qui gère la zone de localisation où est inscrit le mobile ; au passage il vérifie les droits de l'utilisateur pour savoir si l'appel peut être accepté. L'appel est redirigé vers ce second MSC pour interroger le VLR qui va donner l'identité de la zone de localisation sur laquelle l'indication d'appel va être broadcastée.

##### • Appel sortant

Le mobile s'adresse au MSC qui supporte sa zone de localisation pour vérifier ses droits (souvenons-nous que ses caractéristiques ont été rapatriées dans le VLR lors de l'inscription) pour s'assurer qu'il a le droit d'établir l'appel.

## 4.2. CONTINUITÉ DE SERVICE ET HAND-OVER

### 4.2.1. LE CHOIX D'UNE CELLULE AU DÉMARRAGE

Lors de sa mise en service, le mobile scrute le spectre radio à la recherche d'une voie balise avec un signal « correct », et se cale sur celle qui donne le meilleur niveau.

Ceci peut prendre un certain temps, et pour aller plus vite, le mobile va d'abord rechercher dans l'environnement où il se trouvait lorsqu'il a été éteint. Pour ce faire, il mémorise sa dernière localisation connue et par là le numéro de canal de la dernière voie balise utilisée. Lors de la mise sous tension, il essaie de se caler dessus. S'il ne reçoit rien ou si le signal est trop faible, il passe au balayage du spectre.

Pour être valide, la cellule doit aussi :

- appartenir au réseau auquel est abonné l'utilisateur (Orange, Bouygues Telecom...) ou à un réseau partenaire à l'étranger,

- ne pas être en surcharge,
  - ne pas se trouver dans une liste de localisations interdites (relatives à certains abonnements).
- Lorsque qu'il a trouvé la cellule de ses rêves, le mobile peut s'inscrire.

#### 4.2.2. LA RESÉLECTION DE CELLULE

La resélection de cellule est une opération qui se déroule hors communication.

Un mobile est par définition... mobile, et il n'est pas exclu que pendant ses pérégrinations il sorte de la cellule. Pour assurer la continuité du service, le niveau du signal radio reçu sur la voie balise de la BTS est contrôlé par le mobile<sup>1</sup> toutes les 5 secondes.

Quand il descend au-dessous d'un seuil donné, le mobile va décider de changer de BTS et part dans l'examen des cellules voisines de sa cellule courante et, si ça ne donne rien, à l'exploration du spectre.

Si au passage il change de zone de localisation, il doit se réinscrire.

#### 4.2.3. LE HANDOVER

Encore plus fort : le mobile change de cellule pendant une communication. Il est exclu de faire une resélection de cellule qui viendrait à interrompre la communication en cours. Il est tout aussi exclu de ne rien faire, car la communication serait immanquablement coupée. Le mobile va alors exécuter un changement de cellule de manière transparente pour l'utilisateur et sans risque de coupure de la communication. C'est ce qu'on appelle le handover.

Le protocole radio ménage au mobile en communication des instants où il peut effectuer des mesures sur son canal radio et détecter un affaiblissement du signal ou la dégradation de la qualité de la communication. Il recherche alors une autre solution qui peut être un handover intercellulaire ou un handover intracellulaire.

Le **handover intracellulaire** est mis en œuvre quand le niveau du signal est suffisant mais que la qualité est médiocre. Ceci peut être dû à des interférences sur le canal radio utilisé. Il suffit, sans changer de cellule, de simplement changer de canal.

Le **handover intercellulaire** est mis en œuvre quand le niveau du signal devient insuffisant. La communication doit alors être basculée sur la BTS d'une cellule voisine. Un handover intercellulaire peut aussi être déclenché par le réseau pour délester une BTS trop chargée.

Le handover revient à préparer l'accueil du mobile (réservation du canal logique, entre autres). Il ne reste ensuite qu'à « passer la main » pour basculer la communication dans un temps très court, inaudible par l'utilisateur<sup>2</sup>.

---

## 5. LA SÉCURITÉ

---

Les services GSM sont sécurisés par différents moyens :

- **La carte SIM**

La carte SIM contient les divers identifiants et paramètres de sécurité du téléphone. Sans elle, le téléphone est inopérant. C'est elle qui personnalise le téléphone en lui associant un usager et un abonnement de manière unique. Elle est donc propre à chaque opérateur, et fournie par lui.

- **Le code PIN**

Le mobile demande un code PIN pour démarrer après sa mise sous tension. Ce code entré par l'utilisateur est comparé au code PIN stocké sur la carte SIM. Il doit impérativement être initialisé lors de la première mise en service de la carte SIM.

Trois entrées erronées du code PIN bloquent le téléphone, qui peut toutefois être débloqué au moyen d'un code PUK fourni par l'opérateur. Ceci confère à l'utilisateur une garantie que son appareil, ou plus exactement sa carte SIM, ne peut être utilisé par une personne non autorisée.

---

<sup>1</sup> Un mobile qui na rien à faire n'est jamais inactif. Il « tue le temps » en écoutant la voie balise, ne serait-ce que pour être averti si un appel doit lui être présenté.

<sup>2</sup> Dans les tout premiers réseaux GSM, l'utilisateur entendait un léger dé clic lors du handover. A présent, c'est totalement inaudible, ce qui permet de parler de « seamless handover ».

- **Le verrouillage du téléphone**

Si ceci est jugé insuffisant, il est possible de verrouiller le téléphone au moyen d'un autre code confidentiel, qui ne doit pas être confondu avec le code PIN. C'est un numéro ou un code alphanumérique, initialisé à une valeur par défaut indiquée dans la notice du téléphone.

Contrairement au code PIN, le code de verrouillage agit sur l'appareil lui-même en bloquant les appels, les SMS, l'accès au répertoire... enfin à tous les services offerts par le téléphone. Et gare aux étourdis, en cas de perte du code de verrouillage, il faut renvoyer l'appareil chez son fabricant.

- **L'authentification**

Nous avons vu que les mobiles sont authentifiés dès qu'ils essaient de s'inscrire. Ceci permet de filtrer les mobiles qui ne sont pas autorisés à accéder à ce réseau et les mobiles interdits de trafic (voir ci-dessous).

L'authentification est réalisée par une transaction chiffrée avec la BTS, au moyen d'une clé et un algorithme mémorisés dans le mobile sur la carte SIM et, côté réseau, gérés par l'AUC.

- **Le chiffrement des communications**

Les communications sont chiffrées sur l'interface air, c'est-à-dire entre les BTS et les mobiles. Elles sont par contre en clair dans le réseau d'infrastructure, comme toute communication téléphonique sur un réseau de téléphonie.

Nous avons vu que les clés de chiffrement et les algorithmes sont stockés sur la carte SIM et, côté réseau, gérés par l'AUC.

- **L'interdiction de trafic**

Ceci concerne essentiellement les mobiles perdus ou volés. L'opérateur passe le mobile dans un mode « interdit de trafic » qui rend sa carte SIM inopérante.

En complément du blocage de la carte SIM, il est possible de bloquer le téléphone lui-même en donnant son identifiant physique IEMI à l'opérateur. Ceci a pour but de dissuader les voleurs à la tire de dérober des appareils pour les revendre.

L'interdiction n'est pas irréversible et peut être annulée quand l'utilisateur a retrouvé son téléphone.

- **Le masquage des identifiants**

Nous avons vu qu'un identifiant temporaire TMSI est délivré au mobile lorsqu'il s'inscrit. Cet identifiant est utilisé dans toutes les transactions entre le mobile la BTS par souci de confidentialité, afin d'interdire l'interception du véritable identifiant IMSI. En fait, l'IMSI n'est utilisé que lors de la mise sous tension du mobile. Ensuite, il ne sera plus identifié que par le TMSI courant attribué à l'inscription lors du déplacement du mobile. La correspondance est gérée par le VLR.

---

## 6. LA PLANIFICATION RADIO

---

### 6.1. LES GRANDES QUESTIONS

Le déploiement d'un réseau radio ne se fait pas en disséminant des BTS au petit bonheur la chance, mais en suivant un processus strict de planification radio.

Celui-ci doit prendre en compte un certain nombre de contraintes :

- Le réseau doit couvrir tout le territoire prévu, sans « trous ».
- La capacité en chaque point du réseau doit être suffisante pour écouler un trafic moyen, sans pour autant être surdimensionnée.

Il va donc falloir prendre en compte la topologie du terrain, la population pour déterminer les besoins en trafic, tout en cherchant à minimiser les coûts, essentiellement le nombre de BTS.

Un autre problème qui va se poser lors du déploiement est celui de l'acquisition des sites. Les antennes sont de préférence installées sur des points hauts (immeubles, châteaux d'eau, pylônes...). Trouver un site n'est pas toujours commode, ceci pour diverses raisons. La première est qu'un site est souvent déjà utilisé par des antennes d'autres réseaux et il va falloir s'assurer que les antennes du réseau GSM installé ne perturberont pas les réseaux déjà présents. La seconde concerne les problèmes d'environnement, liés au principe de précaution vis à vis de la nocivité des ondes radio et qui interdit d'installer des antennes à proximité de certains lieux publics.

L'ingénierie radio a pour but de fixer un certain nombre de paramètres :

- la position des antennes et leur tilt,
- la puissance des BTS,

- la capacité des BTS (nombre de canaux logiques),
- l'attribution des fréquences aux BTS (selon le motif cellulaire).

Tous ces éléments sont interdépendants et de ce fait, l'étude d'ingénierie va être un processus itératif dont nous décrivons ci-dessous les grandes étapes.

## 6.2. INGENIERIE CELLULAIRE

### 6.2.1. TAILLE DES CELLULES

Une zone rurale supporte un trafic plus faible qu'une zone urbaine dense, c'est l'évidence même. Pour densifier le trafic sur les zones urbaines, on sera amené à définir des cellules de petite taille (quelques centaines de mètres au maximum), tandis qu'en zone rurale, on utilisera de plus grandes cellules, suffisantes pour écouler le trafic (jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres), optimisant ainsi le nombre de BTS.

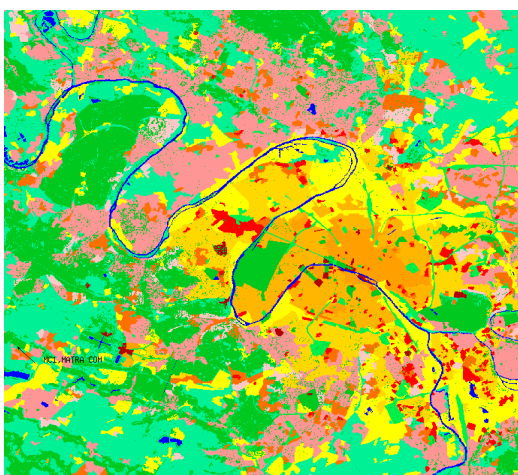
Les BTS représentent une part importante du coût de déploiement d'un réseau GSM. La densification par multiplication des BTS n'est pas forcément la méthode la plus économique. Une solution couramment mise en place est la sectorisation qui consiste à couvrir une cellule par trois antennes directionnelles couvrant chacune un secteur de 120° et utilisant chacune un tiers des canaux physiques alloués à la BTS. Outre la réduction du nombre de BTS (et de sites), cette configuration a le double avantage de réduire le risque d'interférences et de diminuer le nombre de handovers. De plus, si une densification d'une zone est nécessaire sur un réseau déjà installé, cette méthode ne remet pas en cause l'ingénierie radio.

### 6.2.2. IMPLÉMENTATION DES RELAIS

Il faut pour commencer repérer des endroits où pourraient être installés les relais et faire quelques hypothèses.

Une fois un emplacement projeté pour un relais, il faut en premier lieu déterminer sa couverture, c'est-à-dire évaluer l'espace géographique dans lequel le signal sera reçu correctement par les mobiles. La portée d'un relais n'est pas une science exacte. Elle évolue en fonction de la topographie du terrain, plus longue en milieu rural qu'en milieu urbain. Elle est très dépendante de la topographie du terrain et des « accidents » ponctuels (arbres, immeubles...).

Un certain nombre de sites sont présélectionnés pour couvrir une zone géographique donnée. Comme il est hors de question de calculer à la main la couverture de chaque relais (et de toute façon ce serait faux), on utilise un simulateur informatique qui travaille à partir d'une cartographie précise – et à jour – de la région, des caractéristiques de puissance des BTS, des caractéristiques et du tilt des antennes.



**Représentation cartographique de la région parisienne.**

**Rouge : urbain dense**

**Orange : urbain**

**Rose : suburbain**

**Jaune : rural**

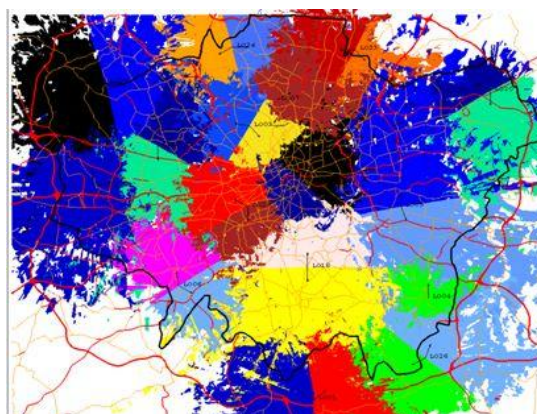
**Vert clair : rural découvert**

**Vert : forêts**

**Bleu : plans d'eau**

La simulation va déterminer une carte de couverture où les différentes cellules apparaissent en couleurs différenciées. Celle-ci met aussi en évidence les trous de couverture.





Carte de couverture

### 6.3. CONFIGURATION DES RELAIS

Deux éléments sont à déterminer : la puissance de la BTS et sa capacité.

#### 6.3.1. PUISSANCE DE LA BTS

Elle est établie en fonction d'un bilan de liaison qui prend en compte la puissance émise au niveau de l'antenne, la sensibilité<sup>1</sup> des équipements, le gain d'antenne, le gain en réception, les différentes pertes, et ceci pour le sens montant et le sens descendant et qui donne l'affaiblissement maximal autorisé sur la liaison.

On définit ainsi :

**Affaiblissement maximal dans le sens descendant** = (puissance de la BTS - pertes de la BTS + gain d'antenne BTS) - (sensibilité du mobile + pertes du mobile - gain d'antenne du mobile)

**Affaiblissement maximal dans le sens montant** = (puissance du mobile - pertes du mobile + gain d'antenne mobile) - (sensibilité de la BTS + pertes de la BTS - gain d'antenne - gain en réception)

Les deux valeurs trouvées doivent être identiques pour que le bilan de liaison soit équilibré. C'est la garantie qu'en limite de cellule le mobile pourra être « entendu » de la BTS et inversement.

• **NB :**

- Les pertes sont des pertes internes au mobile (câble) ou à la BTS (multiplexeur, duplexeur, câble)
- La puissance est celle développée au niveau de l'antenne (la **PIRE**).
- Les gains en réception, au niveau de la BTS sont les gains en puissance apportés par un amplificateur bas niveau (LNA) et s'il y a lieu par la diversité d'antenne.

#### 6.3.2. CAPACITÉ DE LA BTS

Ceci définit le nombre de canaux physiques (autrement dit d'IT TDMA) que devra supporter la BTS et qui est lié au trafic que doit supporter la BTS. Celui-ci peut être appréhendé en évaluant la population fixe, mais il faut également tenir compte de la population de passage, en particulier dans des zones risquant d'attirer de nombreux visiteurs, comme un stade ou un parc d'expositions.

Le calcul du trafic prend en compte le nombre de mobiles dans la cellule et la durée moyenne de la communication. Les lois d'Erlang sont utilisées pour déterminer le nombre de canaux radio TCH, auquel il faut ajouter un canal pour la voie balise. Bien sûr ce nombre doit être un multiple de 8 car il est bien sûr impossible de n'allouer qu'un fragment d'une trame TDMA.

### 6.4. ALLOCATION DES FRÉQUENCES

On ne prend pas des fréquences au hasard. En France, les fréquences GSM sont réparties par l'Autorité de Régulation (ARCEP) entre les différents opérateurs, moyennant le paiement d'une licence d'exploitation. Les bandes de fréquence sont elles-mêmes spécifiques.

---

<sup>1</sup> La sensibilité est la puissance minimale que peut recevoir la BTS/le mobile pour que ce signal soit exploitable.

La tranche de spectre allouée est, on l'a vu, découpée en canaux radio physiques (ou porteuses).

Selon sa capacité déterminée ci-dessus, chaque BTS reçoit un ou plusieurs canaux (correspondant chacun à 8 canaux logiques) qui vont être choisis afin de réaliser un modèle cellulaire.

Ceci ne se fait pas n'importe comment car une même porteuse ne peut pas être utilisée dans des cellules proches. Un certain « espace » exprimé en nombre de cellules, doit être respecté entre deux canaux de même fréquence. Ce nombre est déterminé par le rapport C/I (Signal/interférence) où I représente le niveau d'interférence de BTS distantes utilisant la même fréquence.

Sur une zone homogène (topographie, trafic) couverte par des cellules de taille identique et par des BTS de même capacité, les cellules sont réparties selon un motif défini par le plus petit ensemble de cellules qui utilisent toutes les porteuses nécessaires au fonctionnement des BTS. Les fréquences sont alors allouées sur l'ensemble de la zone en répétant le même motif (typiquement 9 cellules en GSM).

Malheureusement, il est difficile de considérer un territoire étendu, la France par exemple, comme une zone homogène... Le problème se complique avec des cellules de diverses tailles et de diverses capacités. La planification radio pourrait constituer un agréable casse-tête pour occuper les longues soirées d'hiver au coin du feu, mais il est plus expéditif de recourir une nouvelle fois à l'outil de planification qui, en plus de l'emplacement des cellules, va donner la liste des fréquences allouées à chaque relais.

## 6.5. LES ESSAIS TERRAIN

La radio est tout ce qu'on veut sauf une science exacte et aussi sophistiqués que soient les outils de simulation, rien ne vaut pratiqué par un bon relevé sur le terrain.

Un émetteur est placé à l'endroit prévu pour la BTS avec la même puissance, la même antenne et calé sur un des canaux de la future BTS. Un récepteur est placé dans un véhicule qui circule dans la zone couverte par la cellule en mesurant en continu le niveau du signal. L'opération est répétée pour tous les autres canaux radio.

Cette opération met en évidence des zones mal couvertes qui ne sont pas forcément répertoriées par la base de données topographique (petit tunnel, rue étroite...). Des corrections peuvent être apportées en jouant sur l'orientation de l'antenne, sinon, d'autres solutions doivent être trouvées, souvent à base de répéteur ou de câble rayonnant (voir ci-dessous).

## 6.6. DES COUVERTURES PARTICULIÈRES

### 6.6.1. LA SUPERPOSITION DE CELLULES

Certaines zones sont difficiles à couvrir de manière à offrir à tous les usagers un service correct. On distingue ainsi plusieurs cas d'usages atypiques :

- *L'intérieur des bâtiments*

Les ondes radio se propagent moins bien à l'intérieur des bâtiments qu'à l'extérieur, c'est connu, et ce d'autant plus que leur fréquence est plus élevée.

Pour ne pas obliger les usagers à sortir sur le trottoir pour téléphoner (encore qu'ils le fassent pour fumer...), des **picocellules** sont installées dans les bâtiments (immeubles de bureaux, centres administratifs...).

Celles-ci définissent des cellules très petites, de l'ordre de quelques dizaines de mètres, et fonctionnent à puissance réduite.

Certains CHSCT se sont émus de la présence dans les locaux de l'entreprise de picocellules qui sont autant de foyers générateurs d'ondes radio et se sont même opposés à leur installation, ceci afin de protéger le personnel contre les risques liés à l'exposition aux ondes électromagnétiques. Il faut toutefois relativiser. A moins de travailler dans un bunker en béton armé, les ondes du réseau GSM public arrivent quand même à pénétrer, mais affaiblies. Ceci peut être suffisant pour téléphoner, se serait-ce qu'en s'approchant d'une fenêtre. En procédant ainsi, le mobile de l'utilisateur, qui se trouve en limite de portée, fonctionne à sa puissance maximale et rayonne davantage que la picocellule qui pourrait être installée au même endroit.

- *Les mobiles se déplaçant à vitesse élevée*

Ceci concerne en particulier la couverture des autoroutes et lignes de chemin de fer, sur lesquelles des cellules de petites dimensions engendreraient un nombre considérable de handovers. Des **macrocellules** (de l'ordre de la trentaine de kilomètres le long de la voie) sont définies pour accueillir des usagers.

- *Les rues commerçantes*

Les piétons ne se déplacent pas rapidement, mais en ville ils finissent par se trouver très nombreux dans des rues souvent étroites où le risque de dégradation du signal par shadowing et trajets multiples est

élevé. Le trafic peut également y être très important... voir les abords des grands magasins au moment des soldes. Pour ce type de couverture, on adoptera des **microcellules** de faible portée (quelques centaines de mètres) avec des antennes placées relativement bas (typiquement au niveau des immeubles).

### 6.6.2. LA COUVERTURE DES ZONES CONFINÉES

Malgré la meilleure volonté du monde, les antennes des BTS sont impuissantes lorsqu'il s'agit de couvrir des zones confinées (parkings souterrains, tunnels, métro, hangars métalliques...) où les ondes ne peuvent pas passer.

Plusieurs méthodes sont envisageables, les plus courantes étant le répéteur et le câble rayonnant..

- Le **répéteur**, réémet le signal reçu en le réamplifiant, sans aucun autre traitement. Il doit être évidemment placé à un endroit où il reçoit encore un peu du signal de la BTS. Des répéteurs sont couramment utilisés pour améliorer une couverture indoor, couvrir un tunnel (à peu près) droit...
- Le **câble rayonnant** (malheureusement assez cher), est notamment utilisé pour couvrir des surfaces complexes (parking alvéolé, tunnel très sinueux), là où la propagation directe par répéteur n'est pas possible.



Répéteur et câble rayonnant

- Une solution de plus grande envergure est l'**antenne DONOR**. Elle est utilisée pour couvrir de grands espaces où la réception GSM est de piètre qualité, voire nulle (tours d'immeubles, stades...). L'antenne est installée à l'extérieur en un emplacement où elle capte correctement une BTS du réseau. Le signal reçu est redistribué par câble ou fibre optique sur des antennes intérieures.

### 6.7. VIE ET SUPERVISION DU RÉSEAU

Une fois le réseau installé, le travail ne fait que commencer.

Tous les organes du réseau sont supervisés dans un centre de contrôle national ou régional où sont mises en évidence les pannes et les surcharges. Les pannes sont réparées et les surcharges répertoriées. Une surcharge trop fréquente en un point du réseau peut être significative d'une mauvaise adéquation par rapport au trafic, souvent due à des évolutions de la fréquentation d'un lieu depuis la conception du réseau.

Les plaintes des usagers sont également répertoriées et si nécessaire, des essais terrain sont lancés sur la zone incriminée pour vérifier la qualité de la couverture radio et intervenir le cas échéant.

---

## 7. LA SUITE DU GSM

---

Vedette de la fin du 20<sup>ème</sup> siècle, le GSM a rapidement trouvé ses limites et évolué vers des technologies voix et données en mode paquet, avec des débits accrus pour faire face à l'explosion des services Internet.

Le GSM dérivait au début des années 2000 vers le **GPRS** (General Packet Radio Service) qui par agglomération de plusieurs IT permet d'accéder à un débit théorique de 144 kbits/s (bien moins dans la réalité) et en mode paquet, pour accéder à Internet. A cette époque, on réfléchissait à la conception de réseaux de 3<sup>ème</sup> génération pour des débits encore plus élevés et le GPRS, situé entre la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> génération, prit naturellement le qualificatif de 2,5G.

Une évolution suivante fut **EDGE** (Enhanced Data-rates for Global Evolution) qui en utilisant des modulations plus puissantes permit d'atteindre 384 kbits/s. Située en débit entre le GPRS et la 3G, elle fut qualifiée 2,75G et est largement utilisée par les opérateurs de radiotéléphonie.

Arriva la 3G par le standard **UMTS** avec un débit offert de 2 Mbits/s. Hélas, la 3G fut à son tour bientôt dépassée et il fallut encore inventer autre chose. Ce fut **HSDPA** (3,5G ou 3G+), à son tour bientôt détrôné par le futur **LTE** (4G), premier standard à implémenter un fonctionnement en IP de bout en bout (l'appellation actuelle 4G n'étant qu'une amélioration du 3G+). La 5G est dans les tiroirs avec un objectif 2020.

Fin (provisoire) de l'histoire !

GSM	GPRS	EDGE	UMTS	HSDPA	LTE	LTE-A
2G	2,5G	2,75G	3G	3,5 G	4G	5G
9,6 kbits/s	171 kbits/s	380 kbits/s	2 Mbits/s	7,2 Mbits/s	100 Mbits/s	50 Gbits/s

Le Professeur ATENA se penchera très prochainement sur cet intéressant sujet.

---

## 8. GLOSSAIRE

---

La plupart des définitions qui suivent sont extraites du *Lexique des TIC* de Forum Atena <Réf. 1>.

**Appel entrant** Un appel reçu par un équipement.

**Appel sortant** Un appel émis par un équipement

**ARCEP** *Autorité de Régulation des Communications Électroniques et de la Poste* – Un organisme français chargé de la régulation des communications, et entre autres de l'attribution des licences radio.

**AUC** *Authentication Centre* – Un serveur d'authentification des mobiles.

**BSC** *Base Station Controller* – La partie d'un relais radio, ou une unité dédiée, qui contrôle plusieurs BTS.

**BTS** *Base Station Controller* – La partie d'un relais radio, ou une unité dédiée, qui assure les fonctions d'émission/réception envers les terminaux et définit une cellule radio.

**Burst** L'élément d'information transmis dans une trame TDMA, pendant la durée de l'IT.

**Cellule** La zone couverte par le rayonnement électromagnétique d'un relais.

**DCS** Digital Communication System

**Diversité d'antenne** Une technique consistant à utiliser plusieurs antennes en réception afin de maximiser la puissance reçue.

**EDGE** *Enhanced Data rates for Global Evolution* – L'ultime évolution des réseaux radio 2G (2,75G) pour la transmission des données avec un débit de l'ordre d'une centaine de kbit/s. Contrairement aux réseaux 3G (UMTS), EDGE est compatible avec l'infrastructure des réseaux GSM 2G.

**EIR** *Equipment Identity Register* – La base de données des usagers d'un réseau GSM.

**ETSI** *European Telecommunication Standards Institute* – Un organisme de standardisation européen. Il a, entre autres, produit les standards Euro-RNIS, DECT, GSM et participe actuellement aux travaux du 3GPP

**FDD** *Frequency Division Duplex* – Un mode d'organisation de canaux duplex qui occupent deux bandes de fréquence respectivement allouées aux canaux descendants et montants. Un canal montant et son homologue descendant sont espacés d'un écart duplex fixe  $\Delta f$  dont la valeur dépend de la fréquence moyenne de la bande de fréquences.

**GRPS** *General Packet Radio Service* – Une technologie radio dérivée du GSM qui définit des réseaux 2,5G pour la transmission de données en mode paquet avec un débit de l'ordre de quelques dizaines de kbit/s.

**GSM** Global System for Mobile

**GSMK** *Gaussian Minimum-Shift Keying* – Une modulation dérivée de PSK qui agit sur la phase de la porteuse.

**HLR** *Home Location Register* – La base de données système d'un réseau cellulaire (GSM par exemple) qui contient les caractéristiques des abonnés mobiles du réseau ou d'une partie du réseau ainsi que leur localisation courante.

**Hz** *Herz* – Une unité de fréquence d'un signal alternatif qui correspond à une alternance par seconde.

**IMEI** *International Mobile Equipment Identity* – Un numéro d'identification unique propre à chaque téléphone mobile.

**IMSI** *International Mobile Station Identity* – Le numéro d'identification internationale de l'utilisateur

**LNA** *Low Noise Amplifier* – Un amplificateur pour des signaux de très faible niveau.

<b>MIC</b>	Une ligne numérique à 2 Mbits/s qui supporte 32 voies codées <i>MIC</i> , standardisée G.703 par l' <i>ITU</i> .
<b>Mode circuit</b>	Un mode de transmission dans lequel un circuit est conservé pendant toute la durée d'une transaction, quelque soit l'occupation réelle.
<b>Mode paquet</b>	Un mode de transmission qui permet l'optimisation des ressources du réseau en n'occupant un circuit que le temps d'envoi d'un paquet de données.
<b>MSC</b>	<i>Mobile Switching Center</i> – Un équipement d'un réseau <i>GSM</i> qui réalise les fonctions de commutateur téléphonique et gère la mobilité et le traitement des appels dans la zone de couverture radio qu'il supporte.
<b>MSISDN</b>	Le numéro d'annuaire public d'un téléphone mobile.
<b>NMC</b>	Network Management Centre
<b>OMC</b>	Operation and Maintenance Centre
<b>Réseau Cellulaire</b>	Un réseau radio dont l'infrastructure est composée de relais et d'organes de commutation interconnectés au moyen d'un cœur de réseau filaire. Chaque relais définit une cellule du réseau. Ce modèle permet une optimisation du spectre radio et une augmentation de la capacité de trafic lorsqu'on diminue la taille des cellules.
<b>TDMA</b>	<i>Time Division Multiplex Access</i> – Une technique de multiplexage qui permet de transporter différentes communications sur autant d'intervalles de temps d'un canal radio.
<b>TMSI</b>	<i>Temporary Mobile Station Identity</i> – Le numéro d'identification temporaire de l'utilisateur avec lequel il s'identifie à l'intérieur du réseau.
<b>VLR</b>	<i>Visited Location Register</i> – La base de données locale d'un réseau cellulaire ( <i>GSM...</i> ), associée à un ou plusieurs relais, qui contient les caractéristiques et identifiants extraits du HLR des mobiles présentement inscrits dans sa zone de compétence.

---

## 9. BIBLIOGRAPHIE

---

- <Réf. 1>    **Lexique des TIC** *Edition Forum ATENA*
- <Réf. 2>    **Petite histoire de la radio** par Michèle Germain *Livres blancs Forum ATENA*
- <Réf. 3>    **Les bases de la radio – Introduction à la radio** par Michèle Germain *Livres blancs Forum ATENA*
- <Réf. 4>    **Réseaux GSM-DCS** par Xavier Lagrange, Philippe Godlewski, Sami Tabbane *Hermes (1999)*
- <Réf. 5>    **Du téléphone au smartphone** par Michèle Germain *Éditions du Puits Fleuri*

---

## 10. A PROPOS DE L'AUTEUR

---

**Michèle Germain** est ingénieur de l'Institut Supérieur d'Électronique de Paris.

Pour Matra Communication et EADS elle a participé à de grands projets de téléphonie et de radiocommunications (Matracom 6500, Radiocom 2000, réseaux PMR...).

Elle anime l'atelier d'écriture de Forum ATENA et elle a participé comme co-auteur et coordinatrice à la production de plusieurs des ouvrages de la Collection ATENA.

A l'ISEP, elle a enseigné les techniques de radiocommunications professionnelles PMR.

Elle est auteur des livres « Informatique et numérique à l'usage des Seniors » et « Du téléphone au smartphone » (Éditions du Puits Fleuri).

---

Les idées émises dans ce livre blanc n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs et pas celle de Forum ATENA.

La reproduction et/ou la représentation sur tous supports de cet ouvrage, intégralement ou partiellement, est autorisée à la condition d'en citer la source comme suit :

© Forum ATENA 2014 – L'essentiel du GSM

**Licence Creative Commons**

- Paternité
- Pas d'utilisation commerciale
- Pas de modifications



L'utilisation à but lucratif ou commercial, la traduction et l'adaptation sur quelque support que ce soit sont interdites sans la permission écrite de Forum ATENA.