



# Le réseau GSM et le mobile

**Jean-Philippe Muller**

## Sommaire

- 1- La cellule et sa station de base
- 2- La structure du réseau GSM
- 3- Les équipements du réseau GSM
- 4- Les fréquences de travail du GSM
- 5- Evolution des bandes GSM dans le temps
- 6- La voie balise et la voie de trafic
- 7- Les émissions dans la bande GSM descendante
- 8- Les émissions dans la bande GSM montante
- 9- Le multiplexage temporel
- 10- Détection de l'activité d'émission du mobile
- 11- Contrôle par la base de la puissance d'émission
- 12- Contrôle par la base du début d'émission
- 13- La détection du changement de cellule
- 14- Le mobile en fonctionnement
- 15- Les différents types de signaux échangés
- 16- La structure du burst
- 17- La transmission de données et le GSM
- 18- Les équipements du réseau GPRS
- 19- L'attribution des canaux
- 20- La protection des données
- 21- Exemples de mobiles GPRS
- 22- Le traitement de la voix
- 23- Les signaux TXI et TXQ
- 24- La production de la porteuse modulée
- 25- La régulation de la puissance émise
- 26- Les étages de réception du mobile

Annexe 1 : anatomie du mobile bi-bande Sony CD5

Annexe 2 : schéma fonctionnel d'un mobile GSM

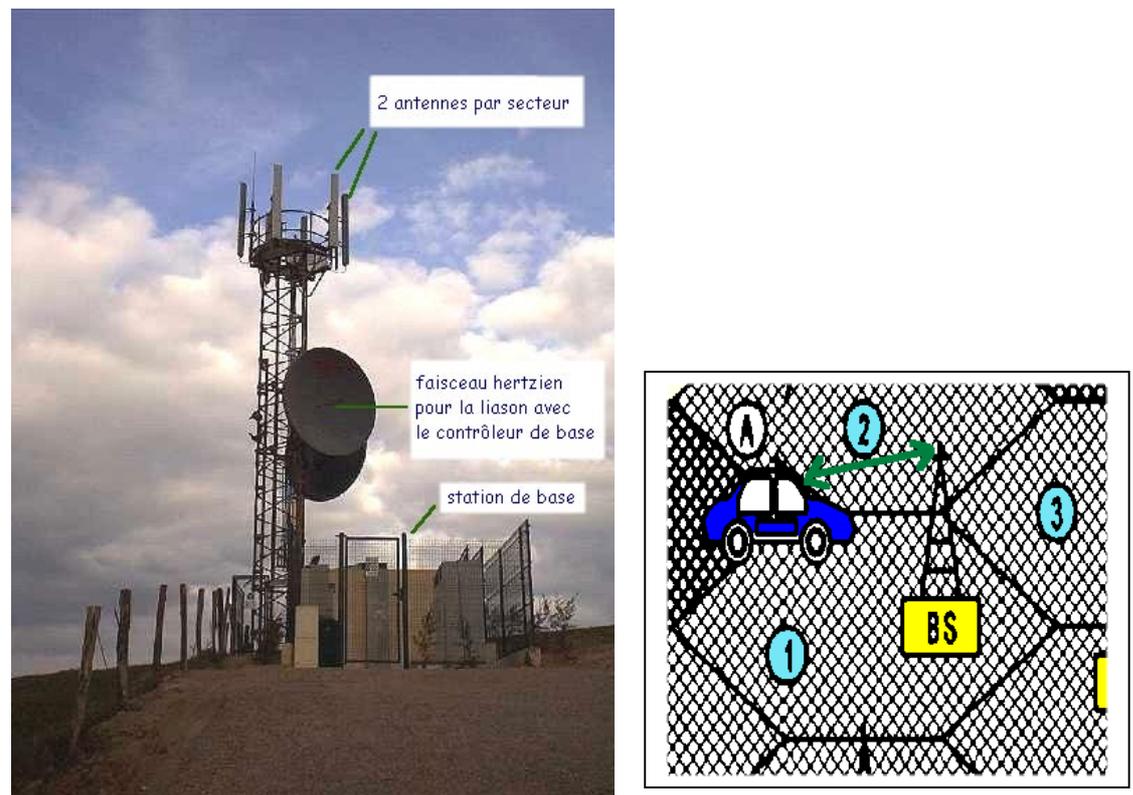
## 1- La cellule et sa station de base

Dans un réseau GSM, le territoire est découpé en petites zones appelées **cellules**.

Chaque cellule est équipée d'une **station de base** fixe munie de ses antennes installées sur un point haut ( château d'eau, clocher d'église, immeuble ...).

Les cellules sont dessinées hexagonales mais la portée réelle des stations dépend de la configuration du territoire arrosé et du diagramme de rayonnement des antennes d'émission. Dans la pratique, les cellules se recouvrent donc partiellement.

Figure 1.  
La station de base du réseau GSM .



Dans une cellule GSM typique (macrocellule) , les mobiles peuvent être situés jusqu'à 35 km de la station de base pour le GSM900 et 2 km (minicellule) pour le DCS1800 ( puissance plus faible, atténuation plus importante avec la distance).

La taille limitée des cellules permet de limiter la puissance d'émission nécessaire pour la liaison et donc augmenter l'autonomie des mobiles.

Figure 2.  
Antenne de microcellule.



Pour les piétons qui évoluent moins vite qu'une voiture et au niveau du sol, on ajoute des sous-stations de petites dimensions sur un site peu élevé et sur les murs des immeubles.

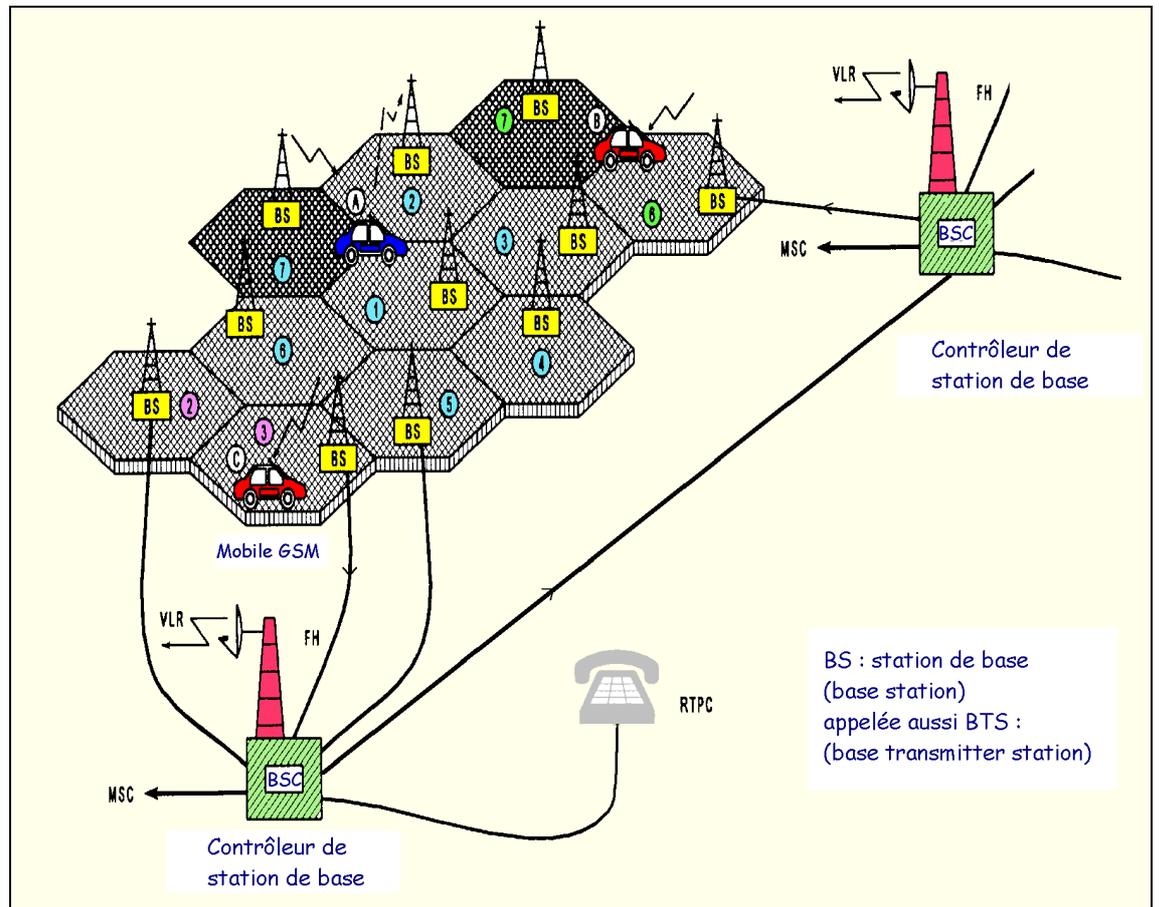


## 2- La structure du réseau GSM

Lorsqu'on téléphone à partir d'un mobile GSM :

- le mobile transmet par radio la communication vers la station de base de sa cellule.
- la conversation est ensuite acheminée de façon plus classique (câble, fibre optique ...) vers le correspondant s'il est raccordé au réseau téléphonique filaire, ou à sa station de base s'il est équipé d'un mobile.
- cette station de base transmet finalement la conversation par radio au correspondant.

Figure 3.  
Structure  
cellulaire du  
réseau GSM .



Même si deux personnes se trouvent dans la même cellule et se téléphonent, la conversation ne passe jamais directement d'un GSM à l'autre.

Au cours d'un déplacement, il est possible qu'on sorte d'une cellule. Il est nécessaire alors de changer de station de base tout en maintenant la communication : c'est le **transfert intercellulaire** ou **handover**.

Pour gérer ce transfert :

- le téléphone GSM mesure en permanence la force du signal radio reçu de la station de base et écoute aussi régulièrement les stations de base des cellules voisines
- lorsqu'il constate qu'il reçoit mieux une autre station de base que celle avec laquelle il échange les signaux, il en informe sa station de base
- la station de base décide alors de passer le relais à la station de base voisine et met en œuvre la procédure de handover

Ce processus oblige tous les mobiles GSM à écouter les stations de base des cellules voisines en plus de la station de base de la cellule dans laquelle il se trouve.



### 3- Les équipements du réseau GSM

Les fonctions mises en œuvre dans le réseau GSM sont celles requises dans tout réseau de mobiles comme la numérotation, l'acheminement vers un usager mobile, le transfert de cellules. etc...

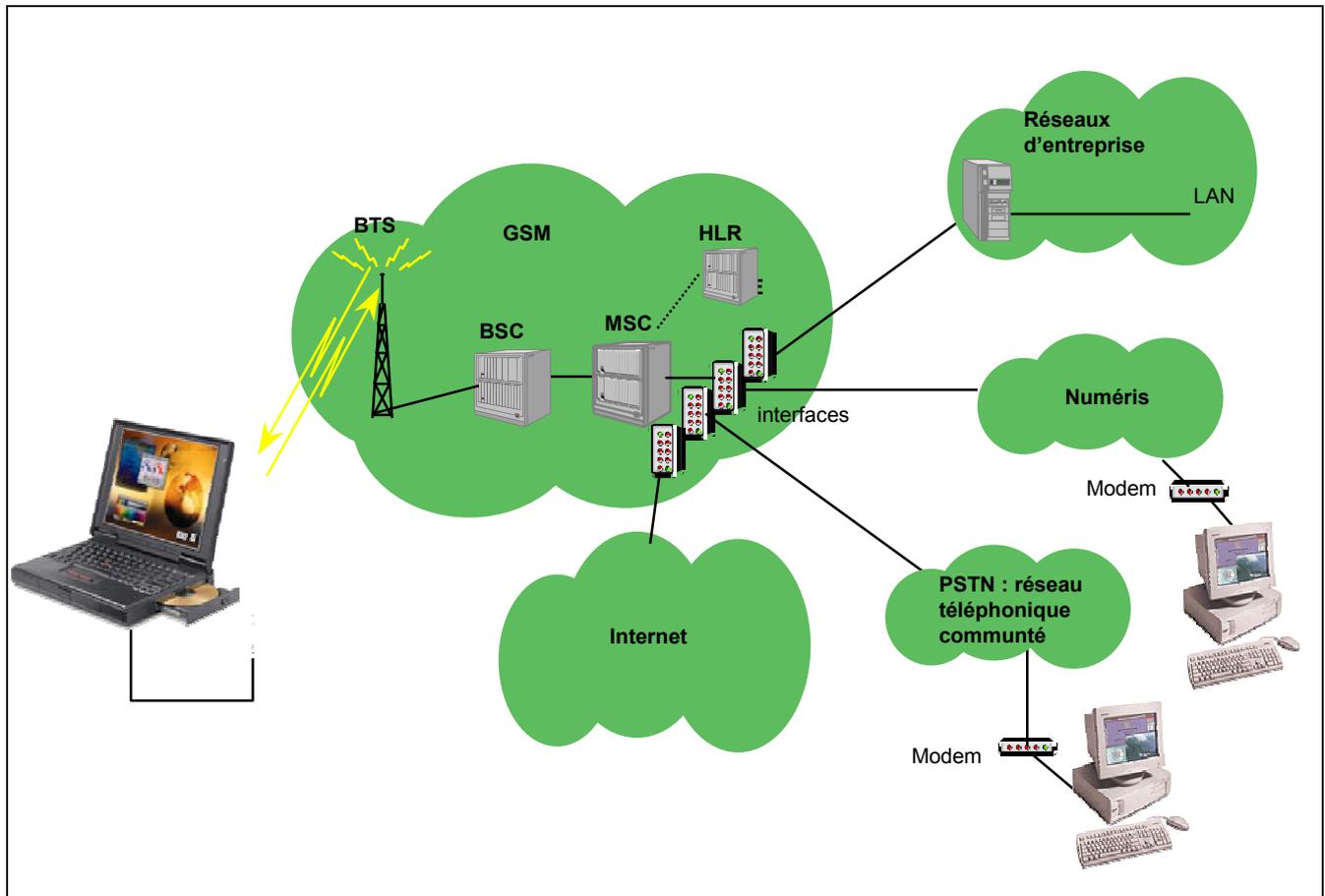


Figure 4. Structure générale d'un réseau GSM.

Le téléphone GSM ou **station mobile** est caractérisée par deux identités :

- le numéro d'équipement, **IMEI** (International Mobile Equipment Identity) mis dans la mémoire du mobile lors de sa fabrication
- le numéro d'abonné **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) se trouvant dans la carte **SIM** (Subscriber Identity Module) de l'abonné

Le système de communication radio est l'équipement qui assure la couverture de la cellule et comprend :

- les stations de transmission de base **BTS** (Base Transmitter Station)
- le contrôleur de stations de base **BSC** (Base Station Controller) qui gère entre 20 et 30 BTS et possède son registre d'abonnés visiteurs **VLR** stockant les informations de l'abonné liées à sa mobilité.

Le commutateur de services mobiles **MSC** est un autocommutateur qui assure les fonctions de commutation nécessaires en aiguillant les conversations vers la MSC du correspondant ou vers d'autres réseaux (téléphonique, Internet, Numéris ...) à travers des interfaces appropriées.

Le registre des abonnés nominaux ou **HLR** (Home Local Register) est une base de données utilisée pour la gestion des abonnés mobiles et contenant deux types d'informations :

- les informations d'abonnés, le numéro d'abonné (IMSI)
- les informations sur la localisation de l'abonné, permettant aux appels entrant dans le réseau d'être acheminés jusqu'à ce mobile



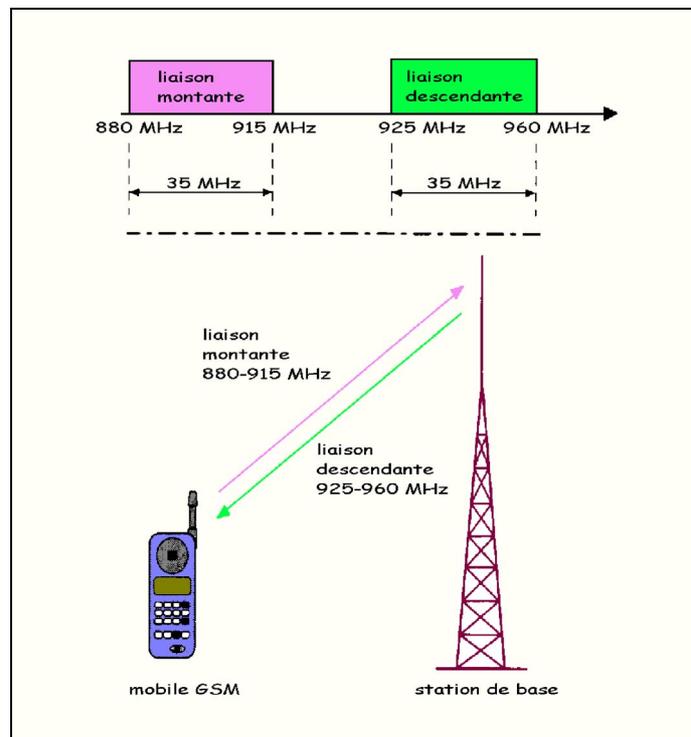
## 4- Les fréquences de travail du GSM

Dans le système GSM/DCS, deux bandes de fréquences sont utilisées, l'une autour des 900 MHz et l'autre autour de 1,8 GHz.

Chaque bande est divisée en deux sous-bandes, servant l'une pour le transfert d'informations entre le mobile et la station de base ( **voie montante** ), et l'autre pour la liaison entre la station de base et le mobile ( **voie descendante** ) :

- bande EGSM étendue ( bande de largeur totale 35 MHz )
  - de 880 à 915 MHz du mobile vers la base
  - de 925 à 960 MHz de la base vers le mobile
  - écart entre les deux fréquences 45 MHz
  - 174 canaux espacés de 200 kHz
  
- bande DCS ( bande de largeur totale 75 MHz )
  - de 1710 à 1785 MHz du mobile vers la base
  - de 1805 à 1880 MHz de la base vers le mobile
  - écart entre les deux fréquences 95 MHz
  - 374 canaux espacés de 200 kHz

Figure 5.  
Liaison entre  
mobile et station  
de base pour le  
GSM .



Chaque porteuse GSM ou DCS est identifiée de manière unique par un numéro  $n$ , désigné par le sigle ARFCN, codé sur 10 bits conformément au plan suivant où la fréquence de la voie descendante est exprimée en MHz:

- pour  $1 \leq n \leq 124$        $f = 935 + (0,2 \times n)$       ( GSM )
- pour  $975 \leq n \leq 1024$        $f = 935 + (0,2 \times (n-1024))$       ( GSM étendu EGSM )
- pour  $512 \leq n \leq 885$        $f = 1805,2 + (0,2 \times (n-512))$       ( DCS 1800 )

**Exemple** : pour  $n=10$ , voie descendante à  $935 + (0,2 \cdot 10) = 937$  MHz et voie montante à  $f_d - 45 = 892$  MHz

**Remarque** : ce numéro de canal peut changer durant une communication lorsque la qualité devient insuffisante ( **saut de fréquence** ou **frequency hopping** ).



## 5- Evolution des bandes GSM dans le temps

La répartition des fréquences entre les différents opérateurs n'est pas figée mais est amenée à évoluer au cours du temps suivant le degré de saturation des cellules en environnement urbain.

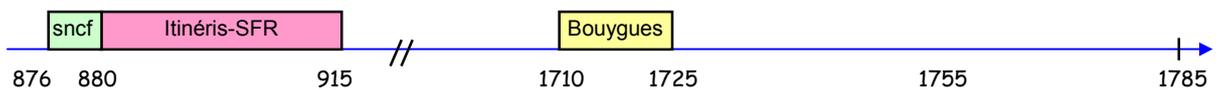
- initialement la bande de fréquence montante réservée aux communications entre mobile et base allait de 890 à 915 MHz et était partagée entre les deux opérateurs Itinérés et SFR.



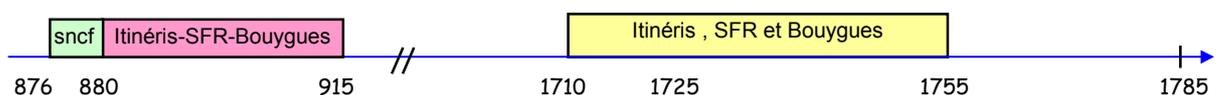
- en 1996, on alloue à un troisième opérateur, Bouygues, une partie de la bande DCS située au-dessus de 1,7 GHz.



- en 1997, la SNCF et les réseaux ferroviaires européens adoptent la norme GSM pour les communications de service et obtiennent une bande de fréquence propre en-dessous de la bande GSM. Celle-ci est étendue de 10 MHz vers le bas (Extended GSM) pour répondre à l'augmentation de trafic.



- à partir de 1999, on attribue à Itinérés et SFR une bande de fréquences dans la gamme DCS, ce qui permet à ces deux opérateurs d'attribuer, en cas de saturation de la bande GSM, des canaux dans la bande DCS à leurs abonnés équipés de mobiles bi-bande. Par souci d'équité entre opérateurs, Bouygues se voit attribuer des canaux dans la bande EGSM.



Cette évolution est effective fin 1999 pour les grandes villes comme Paris, Lyon, Marseille, Strasbourg ainsi que sur la Côte d'Azur.

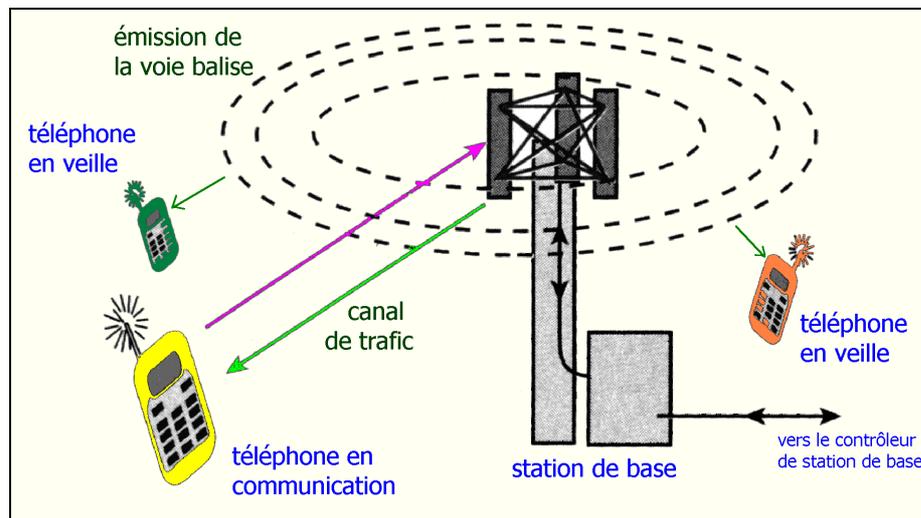
Elle est mise en place au fur et à mesure de l'augmentation du trafic dans les agglomérations d'importance moindre.

## 6- La voie balise et la voie de trafic

Chaque BTS est équipée pour travailler sur un certain nombre de canaux, en général 5 ou 6, qui sont autant de paires de fréquences émission-réception.

Toute BTS émet en permanence des informations sur son canal **BCH** (Broadcast Channel) appelé aussi **voie balise**. Ce signal constitue le lien permanent reliant mobile et station de base à partir de la mise en route du mobile jusqu'à sa mise hors service, qu'il soit en communication ou non.

Figure 6.  
Par la voie balise,  
la base diffuse ses  
informations vers  
tous les mobiles de  
la cellule.



Le fonctionnement du mobile se décompose en 2 phases :

⇒ **mobile en veille** : le mobile échange avec sa base des signaux de contrôle **sur la voie balise** (émission en slot 0 à  $f_1$ , réception en slot 0 à  $f_1 + 45$  MHz)

Le niveau de la voie balise ( BCH ) est connu et sert pour un certain nombre de fonctions de contrôle :

- à la mise en route du mobile, son récepteur scrute la bande GSM pour chercher le signal BCH de niveau le plus élevé. C'est avec la station de base correspondante que le mobile se mettra en communication.
- ce signal contient des informations concernant les opérateurs ( SFR, Itinéris, Bouygues) et les fréquences balise des cellules voisines
- ce signal véhicule les messages qui seront affichés sur l'écran du mobile
- toutes les 15 secondes si le signal reçu est fort et toutes les 5 secondes s'il est faible, le récepteur écoute les balises des cellules voisines pour détecter un changement de cellule.
- l'émission balise n'occupe le canal de transmission que dans le sens base - mobile. La liaison montante pourra donc être utilisée par le mobile pour signaler son désir de se connecter au réseau pour une communication (RACH : random access channel).

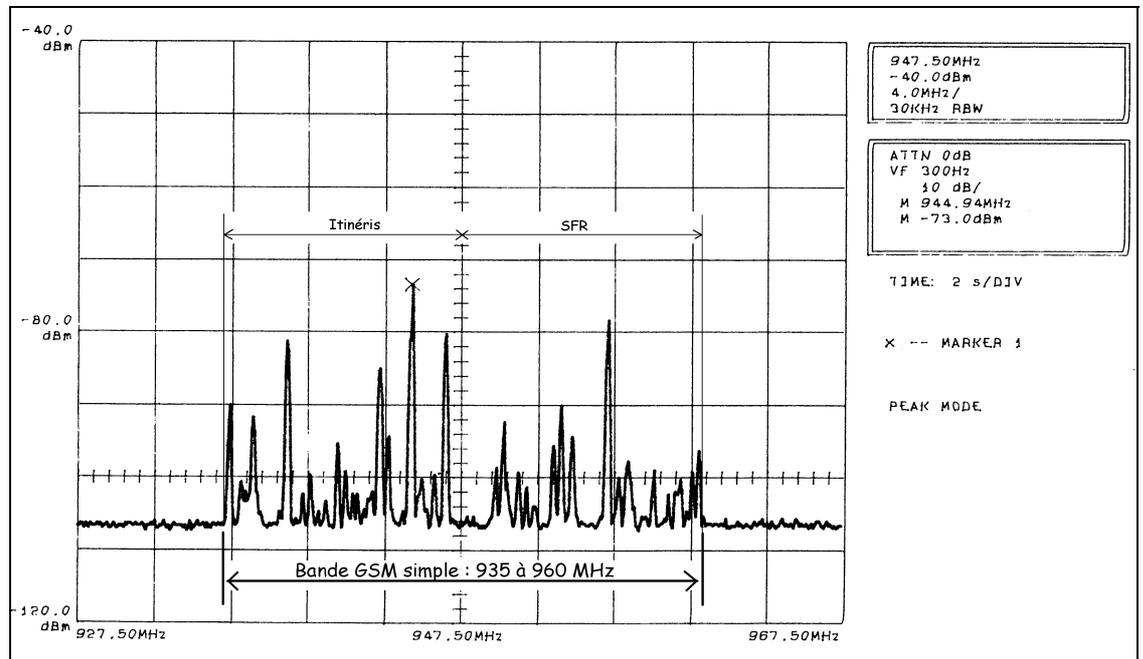
⇒ **mobile en communication** : le mobile échange avec la base des signaux de parole et de contrôle **sur la voie de trafic** (émission en slot  $i$  à  $f_2$ , réception en slot  $i$  à  $f_2 + 45$  MHz)

- il émet et reçoit maintenant sur une nouvelle paire de fréquences allouées par la base pour la durée de la communication : c'est le TCH ( Traffic Channel)
- parallèlement à cette activité principale, il écoute périodiquement les voies balises de la cellule et des cellules voisines pour détecter une variation de niveau lui indiquant un changement de cellule.

## 7- Les émissions dans la bande GSM descendante

La bande réservée aux liaisons descendantes est relativement occupée puisqu'on peut y voir les signaux « balise » émis en permanence par la station de base de la cellule et par les stations de base des cellules adjacentes .

Figure 7.  
Spectre de la  
bande descendante  
à Mulhouse Illberg.

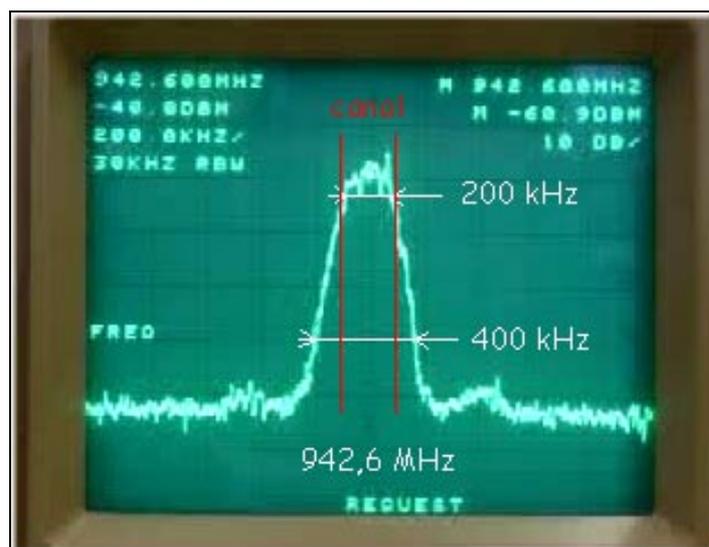


On repère bien sur ce tracé les raies des voies balises de la cellule pour les deux opérateurs.

Les puissances d'émission des voies balise des stations de bases sont parfaitement contrôlés, et les émissions sont présentes 24h/24h.

Au moment où cette courbe a été relevée (juin 99), la répartition entre les opérateurs alloué à Itinérís la moitié inférieure ( largeur 12,5 MHz) de la bande GSM900 et à SFR la moitié supérieure, de largeur identique. L'opérateur Bouygues dispose de 15 MHz au début de la bande DCS.

Figure 8.  
Encombrement  
spectral d'un  
signal GSM..



**Remarque :** à cause de l'encombrement spectral d'une émission GSM, on n'utilise jamais deux canaux contigus dans la même cellule.

En effet, si la largeur du spectre GSM est de 200 kHz à -3dB, elle s'élève à 400 kHz à -60 dB et c'est pour éviter les interférences entre canaux que l'écart pratique entre deux canaux utilisables est de 400 kHz.

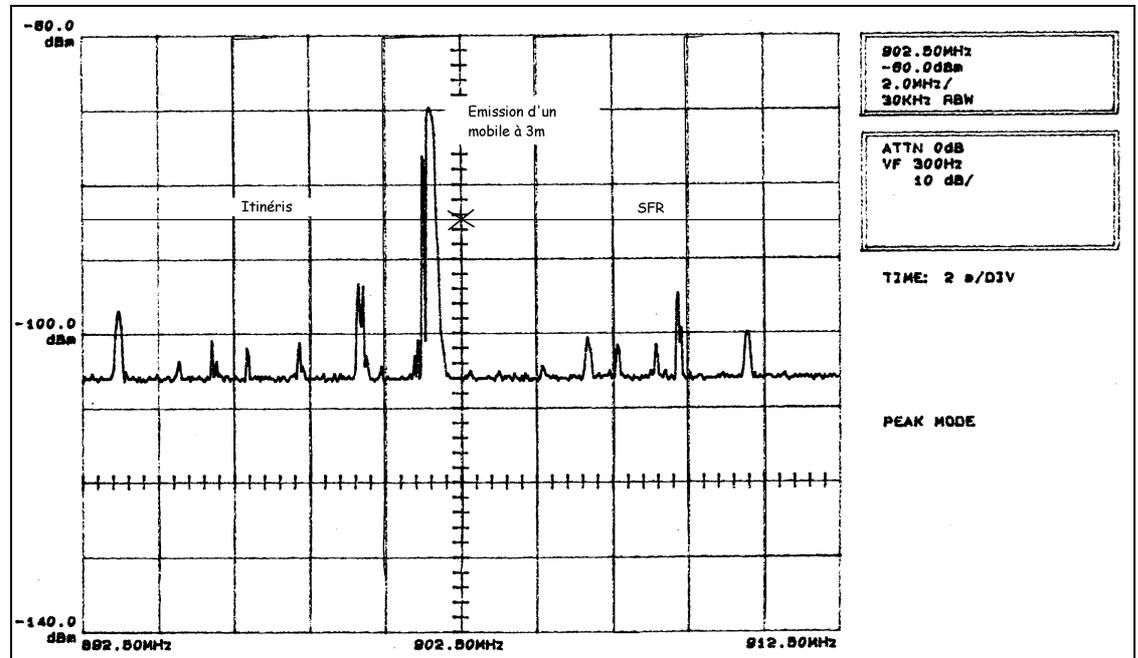


## 8- Les émissions dans la bande GSM montante

La bande allouée aux liaisons montantes est beaucoup moins encombrée puisqu'elle ne sert qu'au moment de l'allumage du mobile et pendant les communications téléphoniques.

Pour visualiser les émissions des différents mobiles, l'analyseur de spectre a superposé les enregistrements durant 2 heures en affichant les valeurs maximales ( mode Max-Hold).

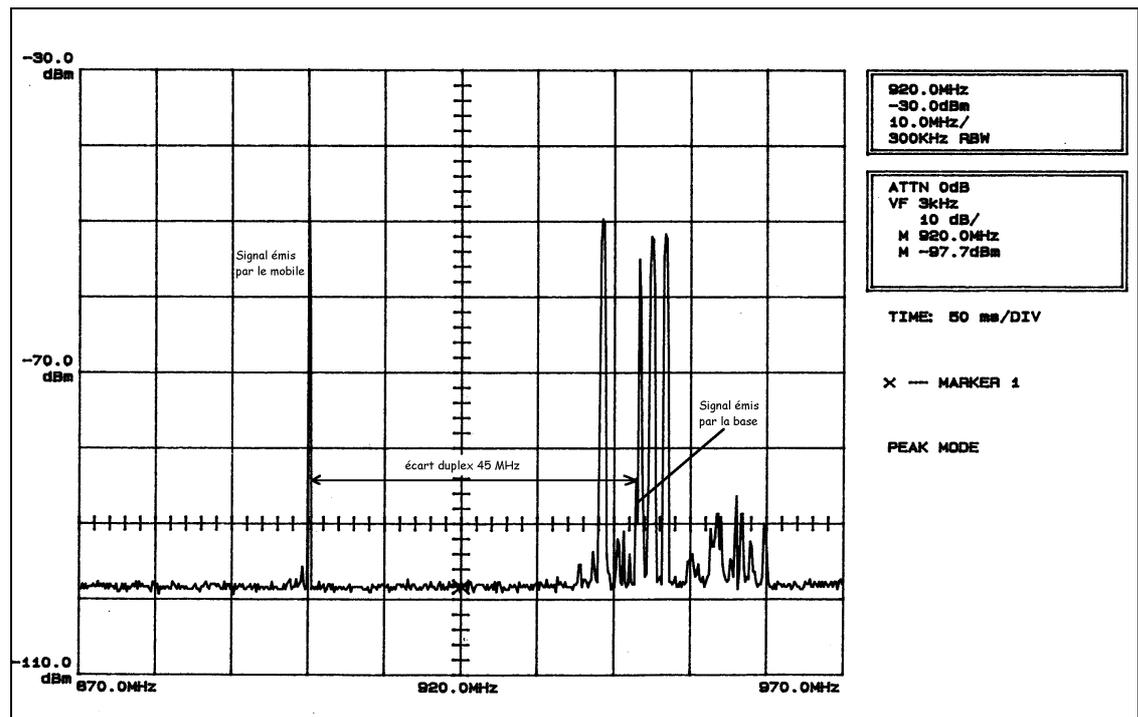
Figure 9.  
Spectre de la bande montante à Mulhouse à Illberg.



Les différents pics visibles correspondent chacun à une liaison montante mobile-base. Le pic de forte amplitude correspond à une communication par un mobile situé à 3m de l'analyseur.

On peut noter la faible amplitude des pics correspondants aux mobiles en communication, qui est liée à une gestion rigoureuse de la puissance émise ( optimisation de l'autonomie et diminution des brouillages).

Figure 10.  
Spectre de la bande montante et descendante durant une conversation.



## 9- Le multiplexage temporel

A l'intérieur d'une cellule, on dispose donc d'un certain nombre de fréquences ou canaux qu'il faut répartir entre les différents utilisateurs.

Lors d'une conversation courante, un téléphone mobile n'a pas besoin du canal de transmission en permanence grâce aux techniques de compression de débit.

⇒ chaque porteuse est divisée en 8 intervalles de temps appelés **time-slots**. La durée d'un slot a été fixée pour le GSM à 7500 périodes du signal de référence fourni par un quartz à 13 MHz qui rythme tous les mobiles GSM :

$$T_{\text{slot}} = 7500/13 \text{ MHz} = 0,5769 \text{ ms} \quad \text{soit environ } \mathbf{577 \mu\text{s}}$$

⇒ sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8 qui constituent une trame TDMA.

$$\text{la durée de la trame est donc :} \quad T_{\text{TDMA}} = 8 T_{\text{slot}} = \mathbf{4,6152 \text{ ms}}$$

Un mobile GSM en communication n'utilisera qu'un time-slot, ce qui permet de faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence de porteuse. Le signal radio émis dans un time-slot est souvent appelé **burst**.

Les slots sont numérotés par un indice  $T_N$  qui varie de 0 à 7. Un « canal physique » est donc constitué par la répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière.

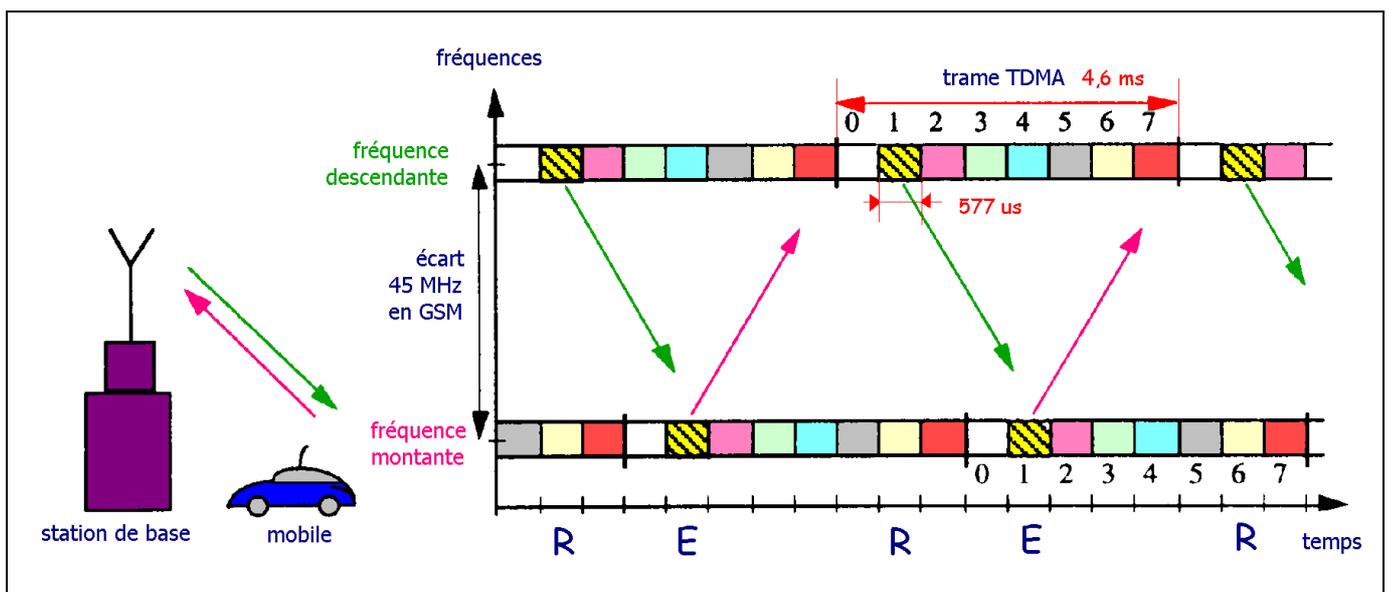


Figure 11. Mobile en conversation sur le time-slot 1.

Durant une communication téléphonique, le mobile GSM reçoit des informations de la station de base et émet des informations vers celle-ci :

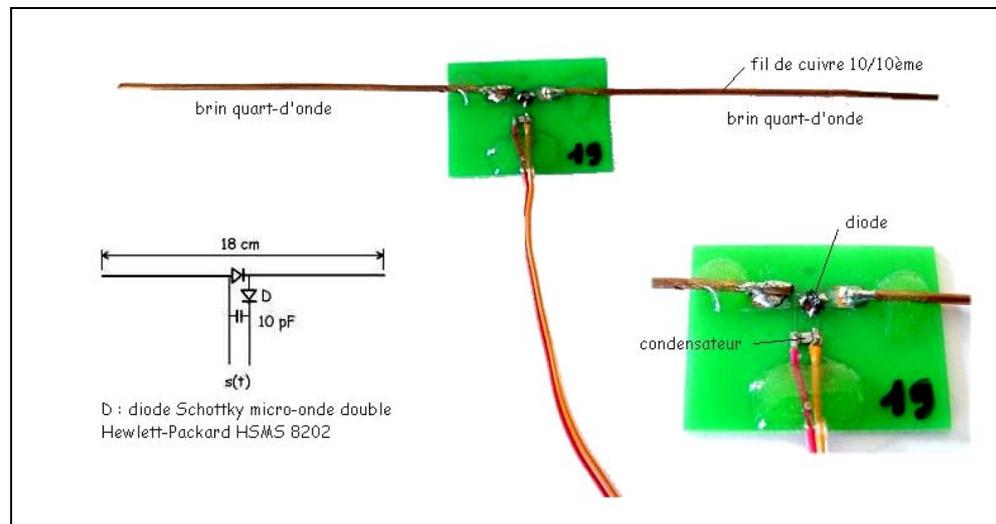
- ces échanges se font sur deux fréquences différentes et n'ont pas lieu au même moment
- au niveau du mobile, l'émission et la réception sont décalés dans le temps de 3 time-slots
- pour conserver la même numérotation des slots, le début de la trame TDMA du mobile est décalée de 3 time-slots / début de la trame de la base

Le mobile reçoit donc le signal émis par la base sur la fréquence descendante  $f$  durant un time slot soit  $577 \mu\text{s}$ , puis 3 time-slots soit  $1,7 \text{ ms}$  plus tard, émet son signal vers la station de base sur la fréquence montante plus basse ( $f-45 \text{ MHz}$  pour le GSM).

## 10- Détection de l'activité d'émission du mobile

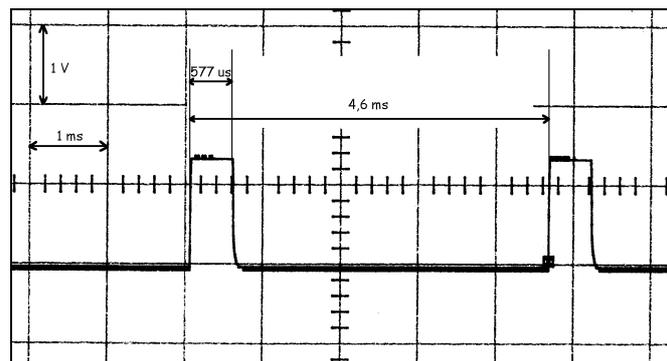
Pour mettre en évidence l'émission d'une onde électromagnétique par le mobile GSM, on peut utiliser le dispositif simple suivant constitué par une antenne demi-onde suivie d'un détecteur crête.

Figure 12.  
Détecteur d'onde électromagnétique à 900 MHz.



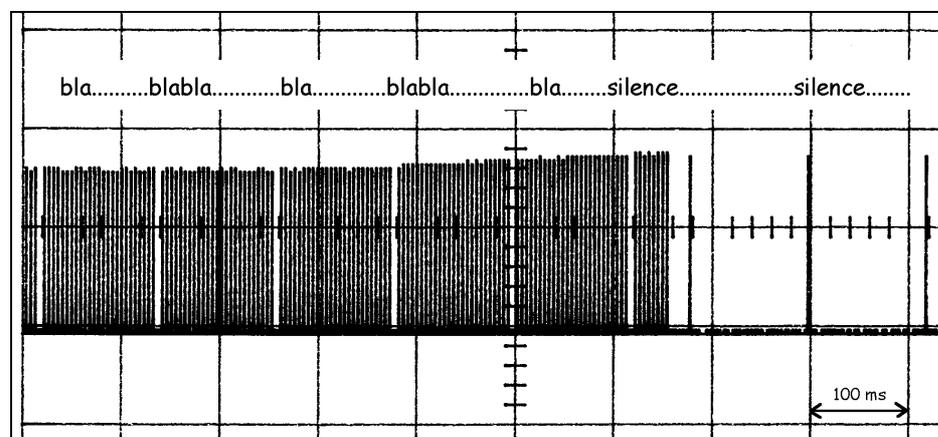
La présence d'une porteuse modulée ou non à une fréquence voisine de 900 MHz se traduit par l'apparition d'une tension  $s(t)$  continue proportionnelle à l'amplitude de la porteuse.

Figure 13.  
Visualisation de l'émission pulsée du mobile GSM.



Ce dispositif permet de mettre en évidence la **détection d'activité vocale**, fonction permettant de limiter la consommation du mobile en réduisant très fortement l'activité d'émission lors d'une interruption du signal vocal.

Figure 14.  
Visualisation de l'interruption de l'émission durant un silence.



Durant un silence, seul est transmis un bruit de fond standard évitant au correspondant l'impression désagréable d'une interruption de la communication.

## 11- Contrôle par la base de la puissance d'émission

La station de base contrôle de nombreux paramètres du mobile et en particulier la puissance d'émission. L'ajustement du niveau émis est fait de façon à minimiser la puissance requise par l'émetteur tout en conservant la qualité de la communication.

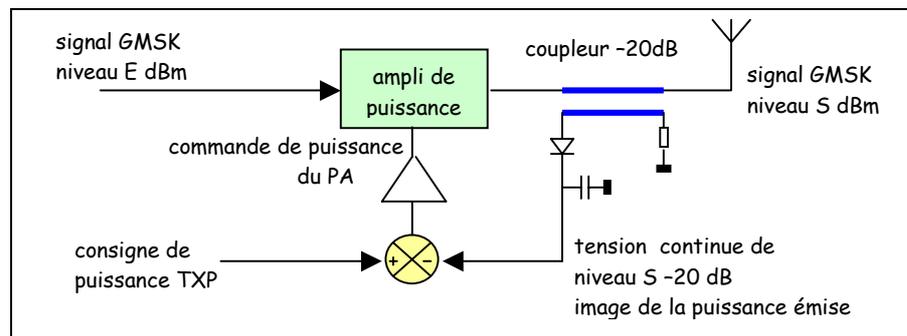
Les deux avantages sont la **diminution du niveau d'interférence** due aux canaux adjacents et **l'augmentation de l'autonomie** des mobiles

En conséquence, l'amplificateur de puissance RF de tout mobile GSM doit être équipé :

- d'une entrée commandant la puissance de sortie
- d'un dispositif de mesure de la puissance émise

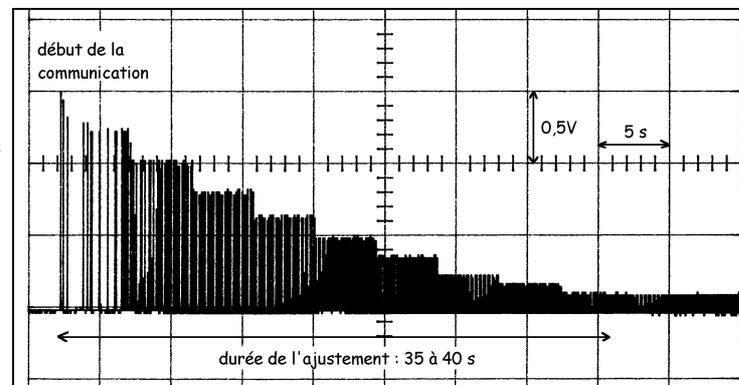
Dans les mobiles actuels, la mesure de la puissance est faite soit par le contrôle du courant absorbé par l'amplificateur de puissance, soit à l'aide d'un ensemble coupleur directif-détecteur Schottky.

Figure 15.  
Principe de la mesure de la puissance émise par le mobile.



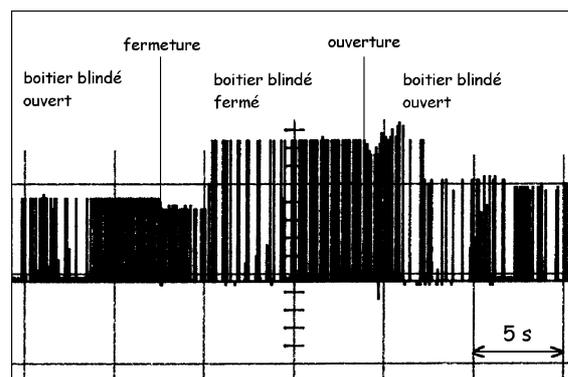
Au début de la conversation téléphonique, la station de base réduit progressivement la puissance émise par le mobile jusqu'au niveau minimal compatible avec une bonne liaison.

Figure 16.  
Ajustement de la puissance émise par le mobile au cours de la conversation téléphonique.



En plaçant le mobile dans un boîtier blindé muni d'un couvercle amovible, on peut modifier l'atténuation introduite au cours de la propagation et observer le réajustement de la puissance émise suite à la réaction de la station de base.

Figure 17.  
Régulation de puissance en fonction de l'atténuation.



On peut observer un temps de réponse de la régulation de puissance de l'ordre de 3 à 4 s.

## 12- Contrôle par la base du début d'émission

Les différents utilisateurs d'un système cellulaire sont à des distances variables de leur station de base et endurent des délais de propagation variables.

Or l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière soit  $c = 300\,000\text{ km/s}$ .

Cette vitesse est très élevée, mais pas infinie et les retards engendrés par la distance se font sentir sur le timing puisqu'une distance de **30 km** cause un retard de **100  $\mu\text{s}$** .

Prenons l'exemple de deux mobiles MS1 et MS2 appartenant à la même cellule. Le premier MS1 est en limite de cellule alors que le second, MS2 est situé près de la station de base.

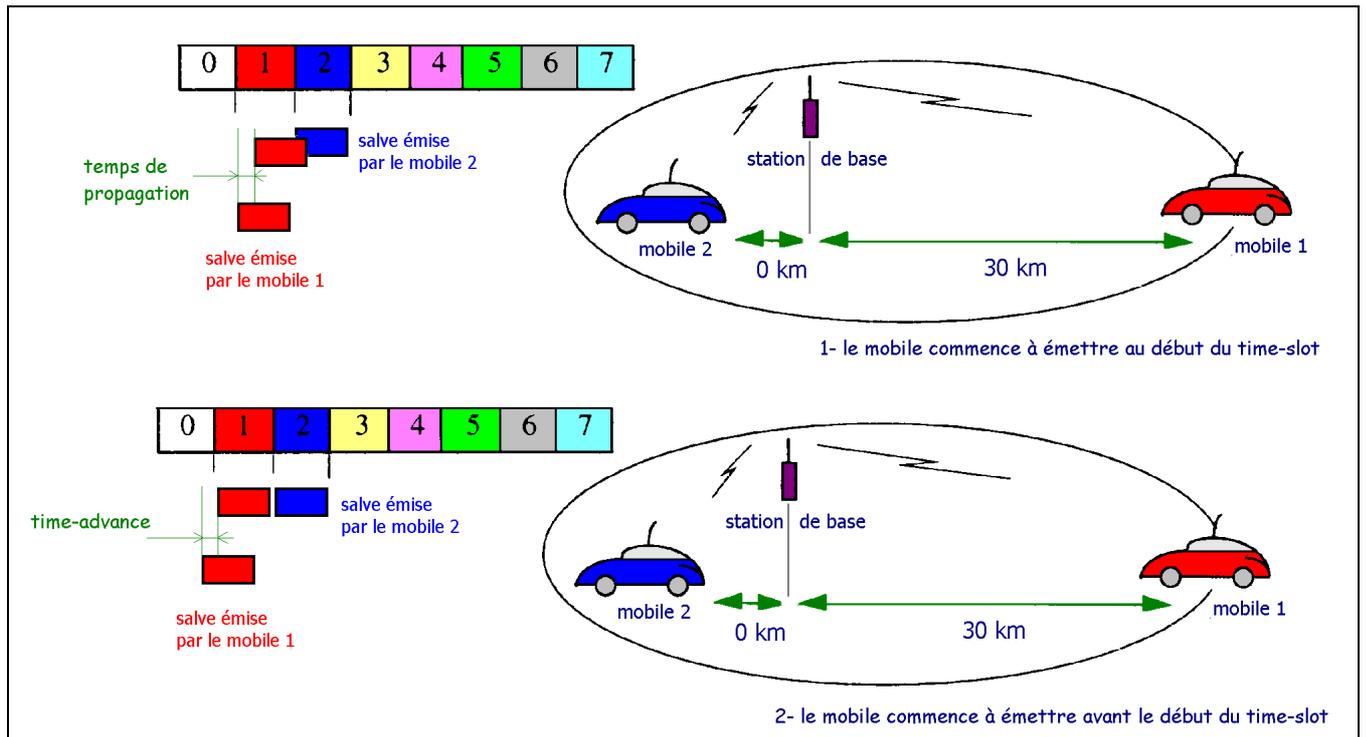


Figure 18. Importance du paramètre de Time Advance.

On suppose que ces deux mobiles utilisent des slots consécutifs sur la même porteuse : MS1 émet dans le slot 1, MS2 dans le slot 2 :

- en l'absence de compensation du temps de propagation, les bursts émis par chacun des mobiles se chevauchent au niveau du récepteur de la BS.
- 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 éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses bursts par rapport à l'instant nominal de début de slot
- la distance entre mobile et station de base étant susceptible de varier en permanence, ce paramètre TA est réajusté à chaque trame et pourra prendre une valeur comprise entre 0 et 63.

**Remarque** : la détermination du paramètre TA permet à la base de connaître la distance à laquelle se trouve le mobile. Par triangulation avec une deuxième station de base, on pourra donc déterminer la position exacte d'un mobile.

### 13- La détection du changement de cellule

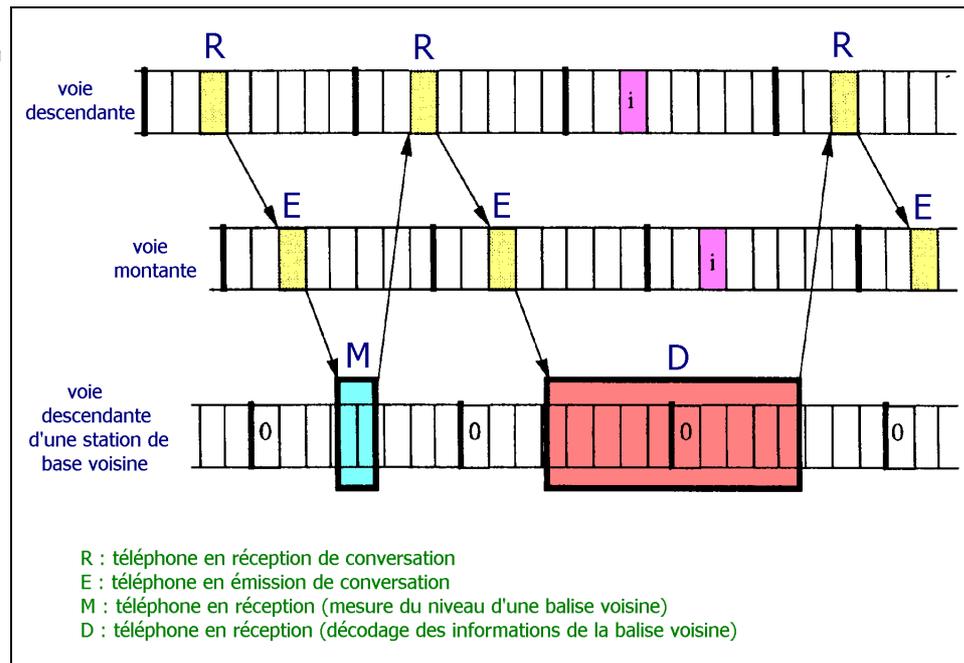
Pendant un échange de données vocales, le mobile continue l'écoute des balises des cellules voisines pour détecter un éventuel changement de cellule.

Cette écoute se fait entre l'émission et la réception du burst suivant. Vu le faible temps disponible, le mobile ne pourra faire qu'une mesure de niveau.

Pour décoder les informations provenant de la balise d'une cellule voisine, il lui faut davantage de temps, surtout qu'il faut « attraper » le time-slot 0 qui contient les informations recherchées.

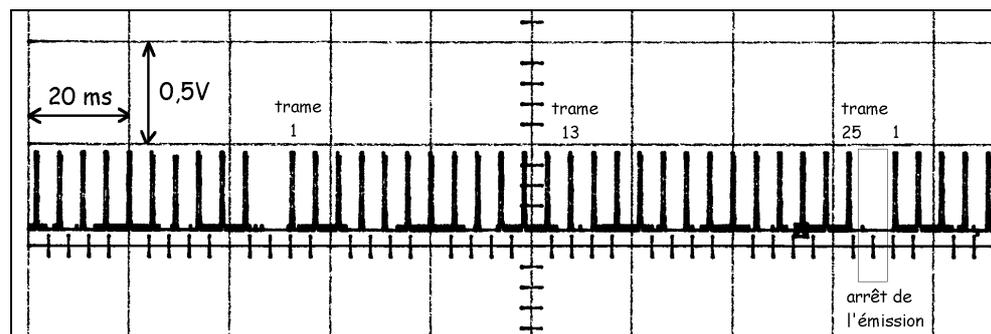
C'est la raison pour laquelle le mobile s'arrête d'émettre et de recevoir toutes les 26 trames ( slot idle ) ce qui lui permet d'écouter et de décoder le canal de contrôle d'une cellule voisine.

Figure 19. Mesure de niveau et décodage des BCCH des cellules voisines.



L'enregistrement de l'activité en émission d'un mobile GSM montre bien l'arrêt de l'émission toutes les 26 trames, soit toutes les 120 ms.

Figure 20. Mise en évidence de la trame de décodage des voies balise des cellules voisines.



Durant cette trame 26, le mobile GSM doit écouter et décoder la voie balise de l'une des cellules voisines.



## 14- Le mobile en fonctionnement

A la **mise sous tension** se passent les opérations suivantes :

- l'utilisateur valide sa carte SIM en tapant au clavier son numéro de code PIN
- le récepteur du GSM scrute les canaux de la bande GSM et mesure le niveau reçu
- le mobile repère la voie balise de niveau le plus élevé correspondant à son opérateur
- le mobile récupère les informations de correction de fréquence lui permettant de se caler précisément sur les canaux GSM
- le mobile récupère le signal de synchronisation de la trame TDMA diffusé sur le BCCH et synchronise sa trame
- le mobile lit sur le BCCH les infos concernant la cellule et le réseau et transmet à la BTS l'identification de l'appelant pour la mise à jour de la localisation

Le mobile a alors achevé la phase de mise en route et se met en **mode veille**, mode dans lequel il effectue un certain nombre d'opérations de routine :

- lecture du Paging Channel qui indique un appel éventuel
- lecture des canaux de signalisation des cellules voisines
- mesure du niveau des BCH des cellules voisines pour la mise en route éventuelle d'une procédure de hand-over

A la **réception d'un appel** :

- l'abonné filaire compose le numéro de l'abonné mobile : 06 XX XX XX XX
- l'appel est aiguillé sur le MSC (commutateur de services mobiles) le plus proche qui recherche l'IMSI dans le HLR et la localisation du mobile dans le VLR
- le MSC le plus proche du mobile ( Visited MSC) fait diffuser dans la zone de localisation, couvrant plusieurs cellules, un message à l'attention du mobile demandé ( par le Paging Channel )
- le mobile concerné émet des données sur RACH avec un Timing Advance fixé à 0 et un niveau de puissance fixé par le réseau ( ces paramètres seront ajustés ultérieurement )
- le réseau autorise l'accès par le AGCH et affecte au mobile une fréquence et un time-slot
- l'appelé est identifié grâce à la carte SIM
- le mobile reçoit la commande de sonnerie
- décrochage de l'abonné et établissement de la communication

Lors de l'**émission d'un appel** :

- l'abonné mobile compose le numéro du correspondant du réseau téléphonique commuté
- la demande arrive à la BTS de sa cellule par le Random Access Channel
- elle traverse le BSC pour aboutir dans le commutateur du réseau MSC
- l'appelant est identifié et son droit d'usage vérifié
- l'appel est transmis vers le réseau public
- le BSC demande l'allocation d'un canal pour la future communication
- décrochage du correspondant et établissement de la communication

## 15- Les différents types de signaux échangés

Les signaux de voix et de contrôle échangés entre le mobile et la base sont classés en plusieurs catégories, mais transitent tous sur 2 voies radio montantes et descendantes :

- la voie balise : FCCH, SCH,,BCCH,PCH,RACH ...
- la voie trafic : TCH, SACCH, FACCH...

Figure 21.  
Les différentes classes ou « channels » de signaux échangés.

				fonction	méthode de multiplexage	
Voie balise	BCH Broadcast Channel  voie balise (diffusion)	↓	FCCH	<i>Frequency Correction Channel</i>	Calage sur la porteuse	un <i>burst</i> particulier toutes les 50 ms sur le <i>slot</i> 0 de la voie balise.
			SCH	<i>Synchronization Channel</i>	Synchronisation, identification de la BTS	Un <i>burst</i> sur le <i>slot</i> 0 de la voie balise, une trame après le burst FCCH
			BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>	Informations système	4 <i>burst</i> "normaux" à chaque multitrame
	CCCH Common Control Channel  (accès partagé)	↓ ↑	PCH	<i>Paging Channel</i>	Appel des mobiles	sous-blocs entrelacés sur 4 <i>bursts</i> "normaux".
			RACH	<i>Random Access Channel</i>	Accès aléatoire des mobiles	<i>Burst</i> court envoyé sur des <i>slots</i> particuliers en accès aléatoire
			AGCH	<i>Access Grant Channel</i>	Allocation de ressources	8 blocs entrelacés sur 4 <i>bursts</i> "normaux"
			CBCH	<i>Cell Broadcast Channel</i>	Messages courts diffusés (météo, trafic routier, etc.)	utilise certains <i>slots</i> de la trame à 51.C (utilisation marginale)
Voie de trafic	Canaux de Contrôle dédiés	↓ ↑	SDCCH	<i>Stand-Alone Dedicated Control Channel</i>	Signalisation	8 <i>SDCH</i> + 8 <i>SACCH</i> sur un canal physique
			SACCH	<i>Slow Associated Control Channel</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• compensation du délai de propagation</li> <li>• contrôle de la puissance d'émission du mobile</li> <li>• contrôle de la qualité de liaison</li> <li>• mesures sur les autres stations.</li> </ul>	associé à <i>TCH</i> sur un canal physique ou à 8 <i>SDCH</i> sur un canal physique
	TCH Traffic Channel	↓ ↑	FACCH	<i>Fast Associated Control Channel</i>	Exécution du <i>Handover</i>	vol du TCH lors de l'exécution du handover.
			TCH/FS TCH/HS	<i>Traffic Channel for Coded Speech</i>	voix plein débit/ demi débit	occupe la majeure partie d'un canal physique
				<i>Traffic Channel for data</i>	données utilisateur 9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s, < 2,4 kbit/s	

Tous les trames ci-dessus n'ont pas lieu en même temps et s'articulent sur des séquences particulières orchestrées par le logiciel de la base.

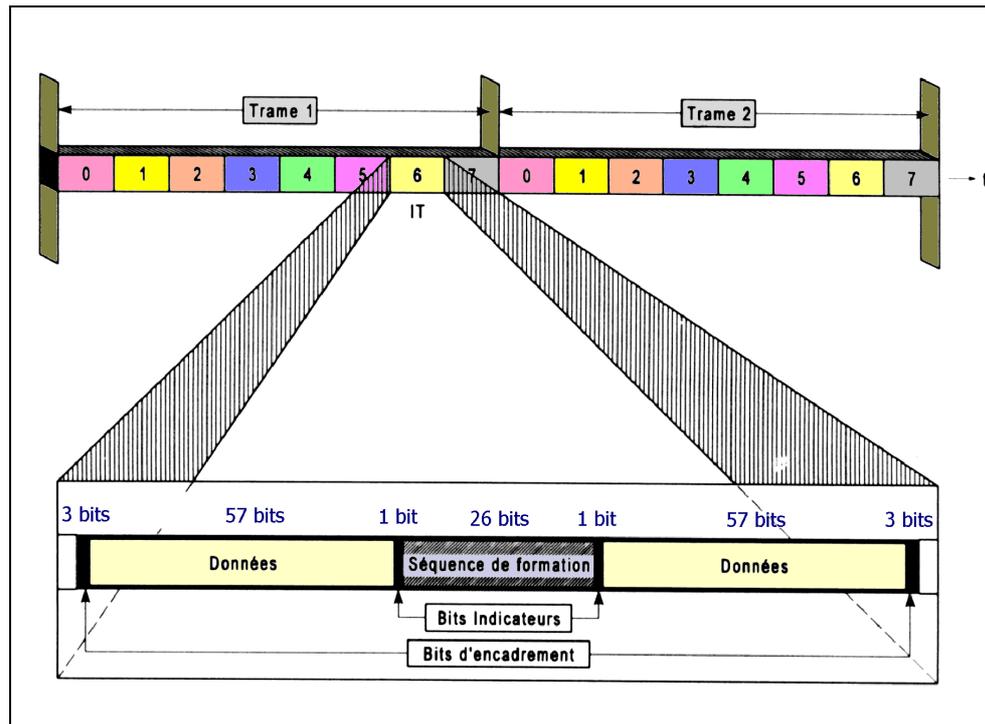


## 16- La structure du burst

Les données échangées entre le téléphone mobile et la base (voix ou signaux de contrôle) sont toujours transmises sous une forme précise :

- 57 bits de données (voix ou signaux de contrôle)
- 26 bits (toujours les mêmes dans une cellule) d'une séquence de formation (training sequence), qui a pour mission de mesurer les propriétés du canal de transmission
- 57 bits de données (voix ou signaux de contrôle)
- quelques bits d'encadrement et indicateurs

Figure 22.  
Structure du signal émis dans un time slot.



Dans chaque trame, le téléphone reçoit donc 114 bits d'informations utiles regroupés dans le time-slot affecté à la communication.

Ces 114 bits peuvent correspondre :

- à de la voix uniquement
- à de la voix mélangée à des données de contrôle

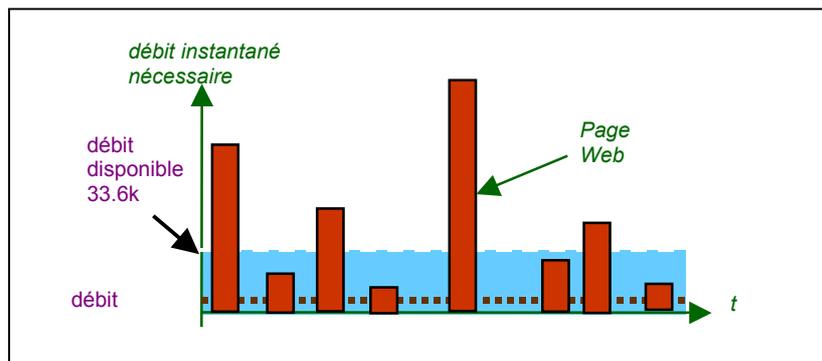
## 17- La transmission de données et le GSM

Le réseau GSM de base ne propose qu'un débit de 9,6 kbits/s, parfaitement satisfaisant pour la voix, mais insuffisant pour le transfert de fichiers, d'images, de vidéos, accès à Internet ...

De plus, le canal de transmission GSM est souvent très mal utilisé lors du transfert de données

- si on surfe sur Internet , le canal de transmission est utilisé à 5% en moyenne
- lorsqu'on répond à ses Emails en direct, le canal de transmission est utilisé à 2%
- lorsqu'on télécharge ses Emails, le canal de transmission est utilisé à 10%

Figure 3.  
Débit moyen et  
débit  
instantané.

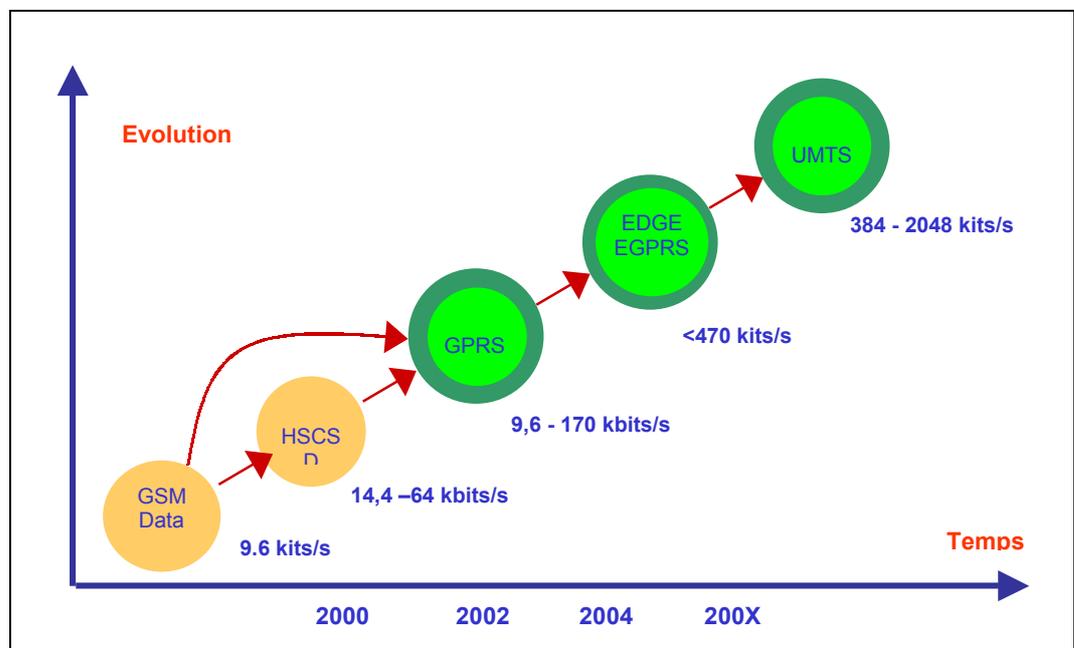


De nouvelles structures sont donc nécessaires pour offrir aux utilisateurs un confort plus grand :

⇒ **la technique HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)** qui permet d'utiliser 2, 3 ...6 time-slots du GSM avec un débit de 14,4 kbits/s par time-slot (avec protection réduite contre les erreurs).

⇒ **le standard GPRS (General Packet Radio Service)** offre un débit plus élevé en affectant un nombre de time-slots variable d'une trame à l'autre en fonction des besoins instantanés

Figure 4.  
L'augmentation  
du débit après  
le GSM.



⇒ **l'EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution)** : réseau de transition entre le GPRS et l'UMTS, permettant une augmentation de débit grâce à une modulation à 8 états au lieu de 2 pour le GMSK

⇒ **l'UMTS (Universal Mobile Telecommunication System)** : c'est le réseau mobile du futur : avec des débits 200 fois supérieurs à ceux d'aujourd'hui, il permettra de fournir des services multimédia et de vidéoconférence d'excellente qualité

## 18- Les équipements du réseau GPRS

Le GPRS ne constitue pas à lui tout seul un réseau mobile à part entière, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant :

- il peut donc être installé sans aucune licence supplémentaire. Ceci signifie que tous les opérateurs qui disposent d'une licence GSM peuvent faire évoluer leur réseau vers le GPRS. L'ART n'a d'ailleurs pas fait d'appel d'offre pour le GPRS alors qu'elle en a fait pour l'UMTS.
- le GPRS utilise les bandes de fréquences attribuées au GSM, c'est à dire une bande dans les 900 MHz, une autre dans les 1800 MHz et enfin une troisième pour les USA, dans les 1900 MHz. Les opérateurs GSM actuels ont de fait un quasi monopole sur le GPRS, ce qui n'est pas le cas pour l'UMTS.
- le GPRS, appelé aussi GSM 2+, repose sur la transmission en mode paquet. Ce principe déjà, retenu par exemple pour le protocole X.25, permet d'affecter à d'autres communications les "temps morts" d'une première communication (attente d'une réponse à une requête Internet par exemple).
- conçu pour réutiliser au maximum les infrastructures GSM existantes, le déploiement du GPRS nécessite la mise en place d'une infrastructure réseau basée sur la commutation de paquets et l'introduction de passerelles pour s'adosser aux réseaux GSM existants.

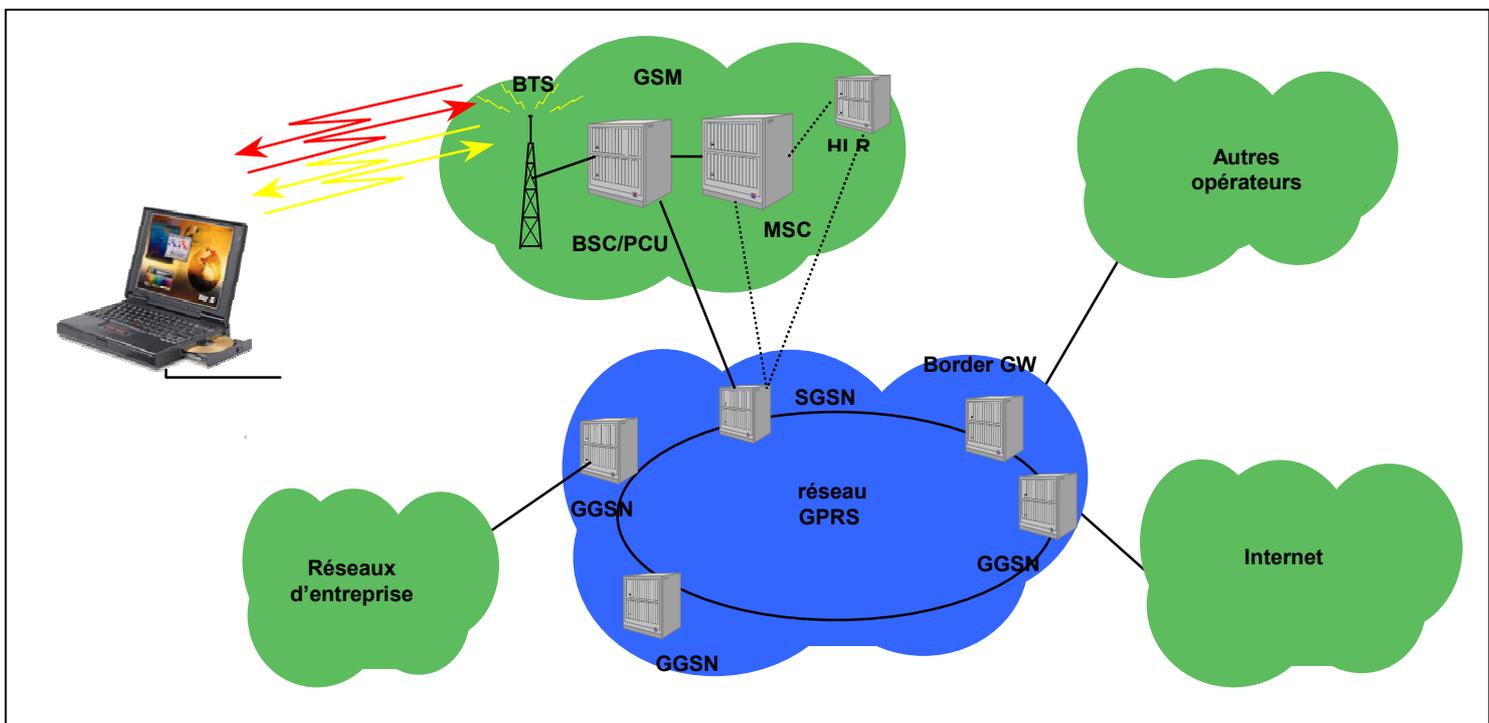


Figure 6. Les ajouts au réseau GSM nécessités par le GPRS.

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

Le rôle de ce logiciel PCU (Packet Control Unit) est de gérer la transmission des paquets dans la BSC

Plus en amont, le contrôleur de stations de base doit être doublé par les éléments suivants:

- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** : nœud de services GPRS, contrôleur qui a pour fonction de vérifier l'enregistrement des abonnés, de les authentifier et d'autoriser les communications
- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** : passerelle réalisant l'interface entre le réseau GPRS d'un opérateur et le réseau public à commutation de paquets
- **structure de communication** reliant les serveurs et les passerelles du réseau GPRS

La gestion des abonnés GPRS se fait par le registre HLR/GR (GPRS register), hébergé dans les HLR/GSM existant et visibles de tous les SGSN du réseau GPRS.

## 19- L'attribution des canaux

La grande nouveauté du GPRS est donc **l'allocation dynamique des ressources radio** : le lien s'établit grâce à un canal spécifique « paquets » PDCH (packet data channel) dont la structure (fréquence, nombre de time-slots, taux de protection) varie au cours du temps en fonction de la quantité de données échangées.

Le débit instantané varie en fonction du nombre de "time slots" utilisés, avec une fourchette de 9,05 à 13,4 kbits/s par time-slot selon de degré de protection des données.

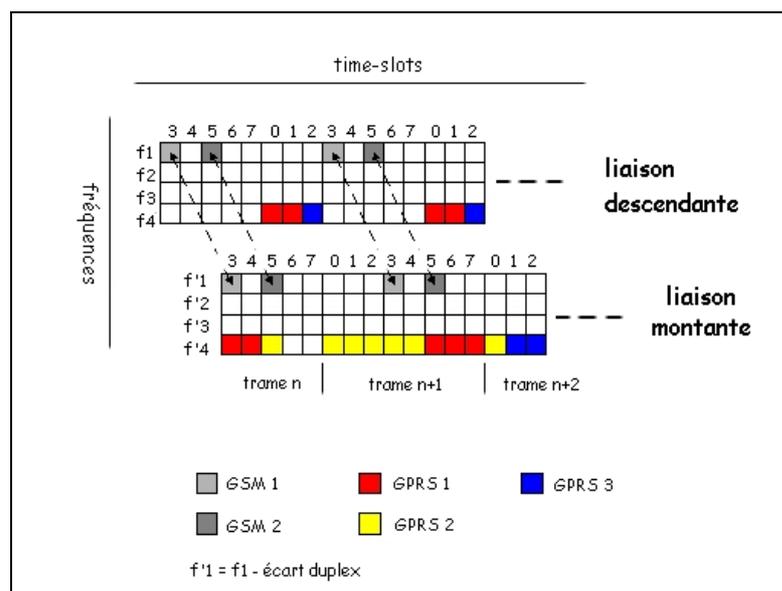
Figure 9. Les différentes classes du GPRS.

Classe	Nombre de slots		Maximum de slots utilisés par trame	Type de multislot	Fonctionnement
	Rx	Tx			
1	1	1	2	1	Mode alterné Rx ou Tx
2	2	1	3	1	
3	2	2	3	1	
4	3	1	4	1	
5	2	2	4	1	
6	3	2	4	1	
7	3	3	4	1	
8	4	1	5	1	
9	3	2	5	1	
10	4	2	5	1	
11	4	3	5	1	
12	4	4	5	1	
13	3	3	6	2	Mode simultané Rx et Tx
14	4	4	8	2	
15	5	5	10	2	
16	6	6	12	2	
17	7	7	14	2	
18	8	8	16	2	
...					

Les premiers services GPRS déployés seront de **classe 2** soit **26,8 kbits/s** en réception, pour évoluer peu après jusqu'à la classe 12 soit 53,6kbits/s en réception également, c'est-à-dire l'équivalent de ce qu'offre aujourd'hui un modemV90.

Ces vitesses de transfert sont envisageables sans impact notable sur la conception existante du mobile ou de l'équipement terminal. Ce n'est pas le cas des services au-delà de la classe 12 qui exigent des modifications tant logicielles que matérielles d'un autre ordre puisque le mobile devra être capable de fonctionner simultanément en émission et en réception.

Figure 10. Exemple d'affectation des time-slots.



⇒ le canal f<sub>1</sub> est affecté aux communications vocales

⇒ le canal f<sub>4</sub> est affecté à la transmission de données

On constate que chaque trame de transmission de données au standard GPRS est différente, et les time-slots sont affectés en fonction des besoins des différents utilisateurs.

## 20- La protection des données

Une fois que le nombre de time-slots affectés à la liaison montante et descendante est fixé, le débit numérique va dépendre du degré de protection des données transmises : c'est le choix du **schéma de codage**.

Quatre niveaux de codage convolutif CS1, CS2, CS3 et CS4 sont disponibles, suivant la qualité de liaison souhaitée et le taux de brouillage existant dans la cellule.

Figure 13.  
Les 4 niveaux de codage convolutif.

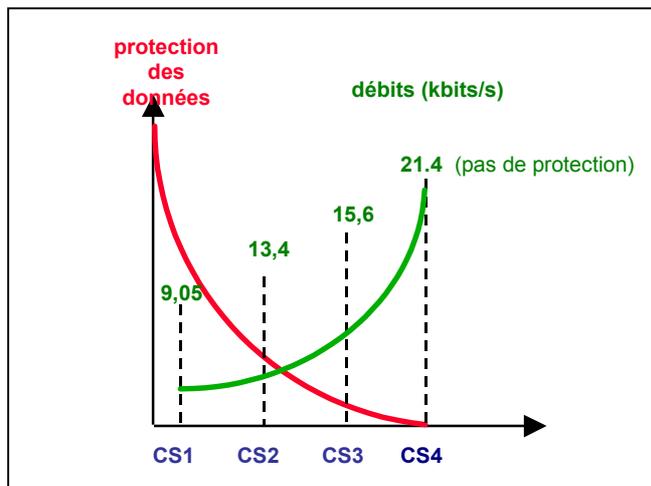
Schéma de codage de canal	Nombre de bits de données dans un bloc	Nombre de bits sur 4 burst	Débit de transfert en kbits/s	Débit maximal sur la base de 8 time-slots
CS1	181	456	9,05	72,4 kbits/s
CS2	268	456	13,4	107,2 kbits/s
CS3	312	456	15,6	124,8 kbits/s
CS4	428	456	21,4	171,2 kbits/s

Le niveau CS1 correspond à une protection maximale des données. Le codage convolutif fait alors passer le bloc de 181 à 456 bits, ce qui donne :

- 181 bits transmis sur 4 bursts dans 4 trames consécutives
- durée totale :  $4 \times 4,62 \text{ ms} = 18,5 \text{ ms}$
- débit résultant brut :  $D = 181/18,5 = 9,8 \text{ kbits/s}$
- débit résultant net :  $D = 9,05 \text{ kbits/s}$  si on enlève les bits d'en-tête et de contrôle

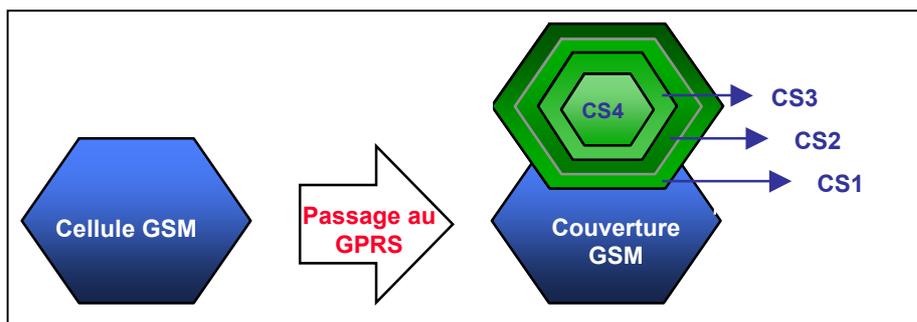
La station de base peut choisir l'un ou l'autre de ces niveaux de protection en fonction du taux d'erreur observé et de la qualité souhaitée par l'utilisateur.

Figure 14.  
Les 4 niveaux de protection des données.



Au niveau d'une cellule, la station de base optimise aussi le taux de codage en fonction de l'éloignement de l'utilisateur et réservera le mode CS1 le plus protégé pour les utilisateurs situés en limite de cellule.

Figure 15.  
Modulation de la protection en fonction de l'éloignement.



## 21- Exemples de mobiles GPRS

Trois classes de mobiles GPRS sont définies :

- **mobile de classe A** : il peut être déclaré sur GPRS (GPRS Attach) et GSM (IMSI Attach). Il peut être en communication simultanément sur le service GPRS et sur d'autres services GSM en mode circuit. Ce terminal haut de gamme pose problème actuellement. La puissance de calcul qu'il demande a pour l'instant une forte incidence sur son coût de production et le rend dissuasif.
- **mobile de classe B** : il peut être déclaré sur GPRS et GSM, et écouter simultanément les deux signalisations. Des communications en mode circuit GSM et en mode paquet GPRS ne peuvent avoir lieu simultanément. C'est le modèle GPRS de base.
- **mobile de classe C** : il peut être activé soit sur le réseau GPRS, soit sur le réseau GSM et il ne peut écouter les deux signalisations simultanément. Ce modèle professionnel ou industriel est data exclusivement (le terminal est utilisé comme un modem).

Figure 16.  
Quelques  
futurs mobiles  
GPRS.

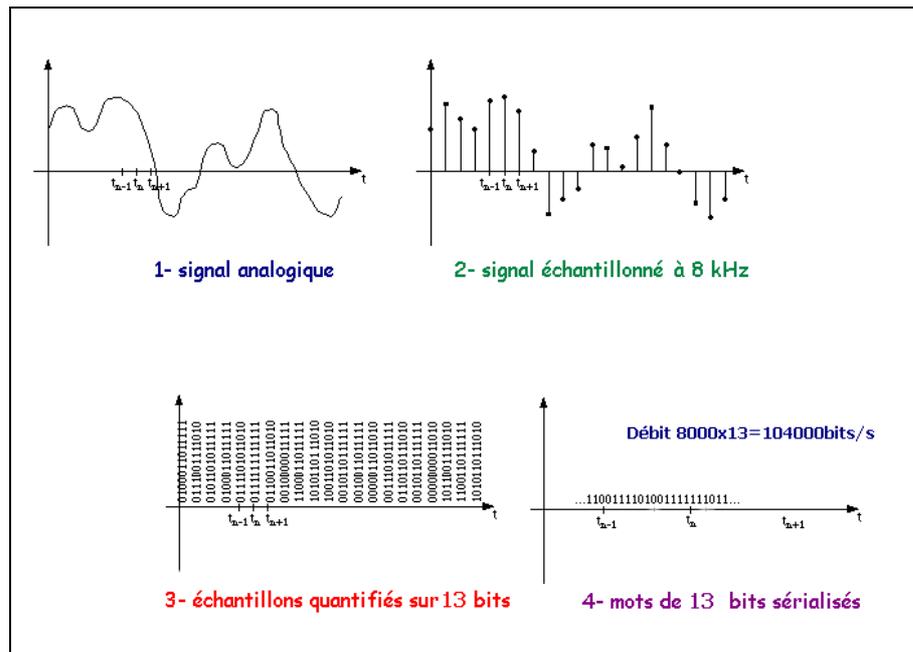
<p><b><u>Sagem MC 850 GPRS</u></b></p> <p>GSM 900/1800 MHz GPRS Class B GPRS CS1/2/3/4 GPRS 1UL +3DL 115kbps speed</p> <p>Conversation : 5h - Veille : 140 h 137 g. - 132 x 50 x 21 mm</p>	
<p><b><u>Ericsson R520</u></b></p> <p>GSM 900/1800 MHz HSCSD GPRS Class B, CS1/2/3/4, 1UL +3DL 115kbps speed Bluetooth, Wap</p> <p>Conversation : 7h35 - Veille : 200 h 105 g. - 130 x 50 x 16 mm</p> <p>Disponible début 2001</p>	
<p><b><u>Alcatel One Touch™ 700</u></b></p> <p>GSM 900/1800 MHz GPRS Class B, Bluetooth, Wap</p> <p>Conversation : 5h - Veille : 320 h 88 g. - 122 x 48 x 25 mm</p> <p>Disponible en octobre 2000 ?</p>	

## 22- Le traitement de la voix

Le GSM est un téléphone numérique, la voix est donc digitalisée et traitée sous forme numérique par un processeur de signal ou DSP (Digital Signal Processor) :

- le son est capté par le microphone qui fournit un signal analogique (1)
- il est échantillonné (2) et transformé en échantillons binaires codés sur 13 bits par un convertisseur analogique-numérique (3)
- les mots binaires sont sérialisés (4) avec un débit brut de  $D=8000 \times 13=104$  kbits/s

Figure 23.  
Codage de la voix dans le mobile GSM.



Une fois le signal vocal numérisé, il entre dans le DSP pour y subir un certain nombre de traitements numériques :

- ce signal binaire a un débit beaucoup trop important pour être transmis tel quel. Il va donc subir une diminution de débit importante (5) grâce au **vocodeur GSM** qui abaisse le débit à 13 kbits/s
- les données numériques ainsi obtenues sont protégées par des **codes correcteurs d'erreurs** permettant de réparer à l'arrivée les erreurs de transmission qui ont pu s'introduire à la suite d'aléas de propagation ou de parasites (6)
- l'application d'**algorithmes de cryptage** (6) assure la confidentialité des communications
- les données sont enfin regroupées en paquets de 156 bits et de durée 577  $\mu$ s (6) pour la constitution de la trame

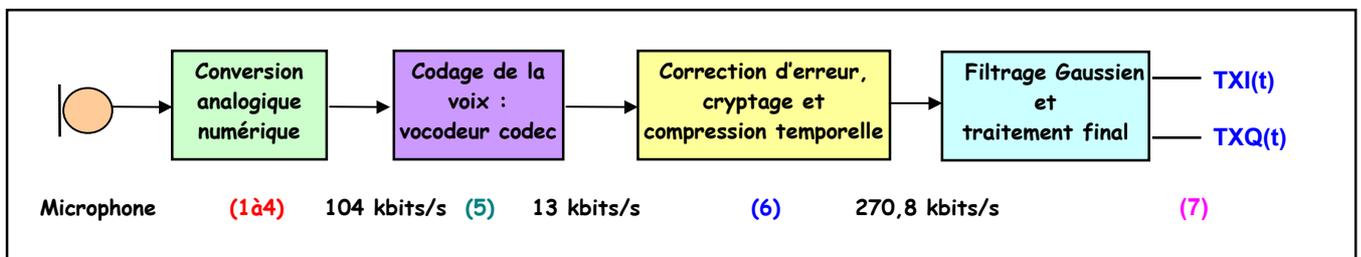


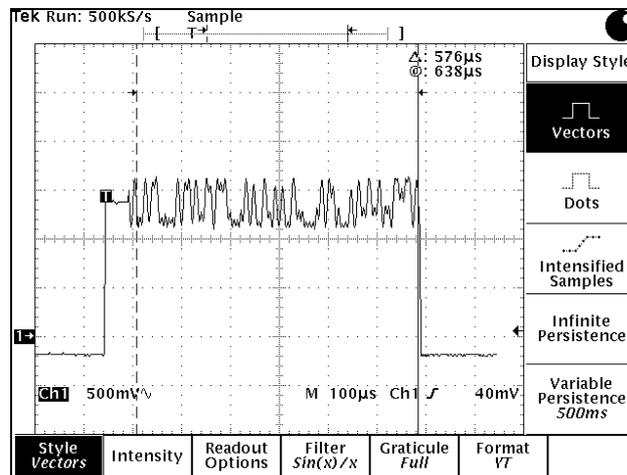
Figure 24. Les étapes du traitement du signal vocal.

Après tous ces traitements, les données binaires sortent en (7) regroupées en paquets de 156 bits sous la forme de 2 signaux TXI(t) et TXQ(t) et sont prêts à entrer dans les circuits d'émission pour moduler la porteuse.

## 23- Les signaux TXI et TXQ

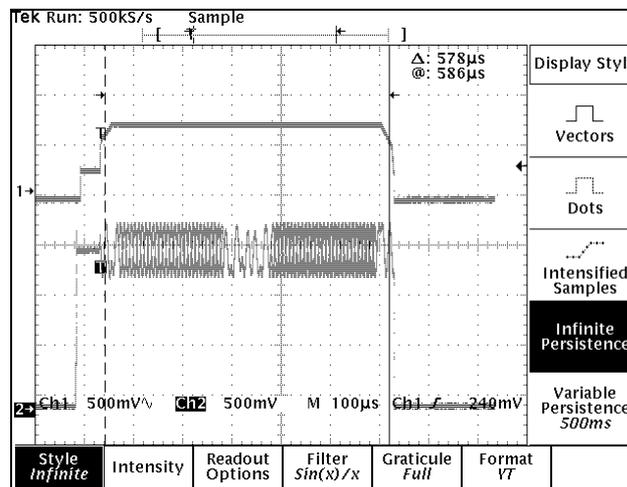
Ces signaux sont intéressants parce qu'ils restent actuellement encore accessibles à la mesure sur les téléphones GSM.

Figure 25. Allure du signal TXI relevé sur le C1.



L'oscillogramme des signaux TXI et TXQ met en évidence l'action du filtre gaussien sur le signal numérique.

Figure 26. Superposition de salves TXI.



Lorsqu'on superpose un grand nombre de salves, on peut constater que les bits de la « training sequence » restent bien invariables, comme d'ailleurs les bits de garde.

Les signaux TXI et TXQ ont des allures semblables, et les variations de ces deux signaux vont produire la variation de fréquence correspondante de la porteuse.

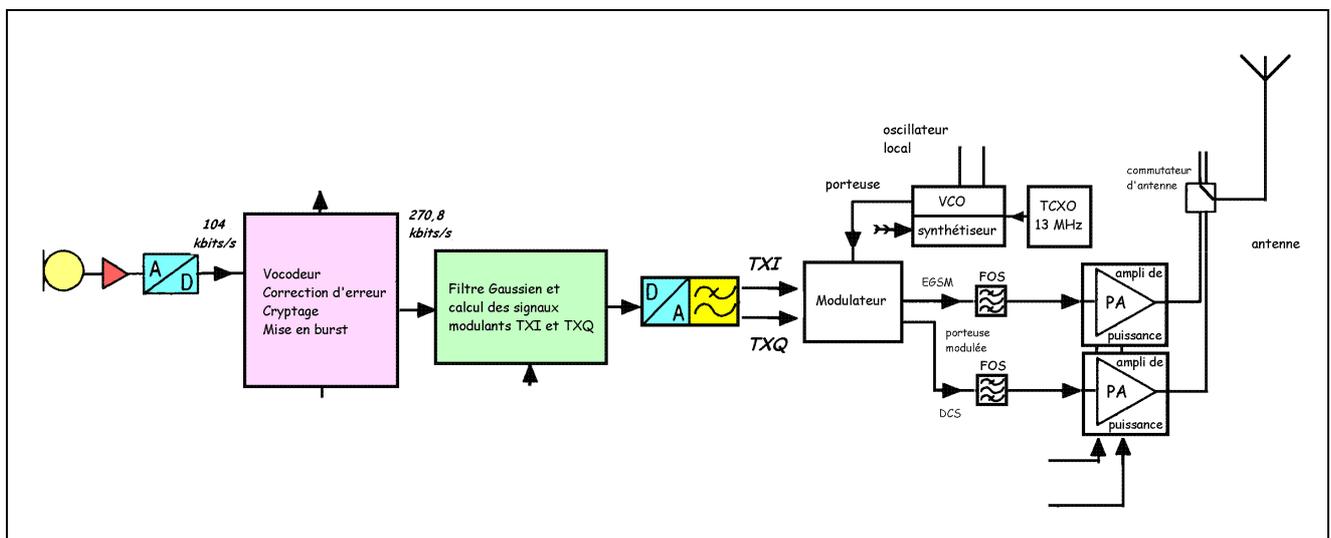


Figure 27. La production des signaux TXI et TXQ.

## 24- La production de la porteuse modulée

Le mobile GSM émet une porteuse de fréquence  $f_0$  **modulée en phase** qui s'écrit :

$$e(t) = E \cos(\omega_0 t \pm \pi/2 T_{\text{bit}}) \quad \begin{array}{l} + \text{ si on transmet un « 1 »} \\ - \text{ si on transmet un « 0 »} \end{array}$$

Pendant la durée  $T_{\text{bit}} = 3,6 \mu\text{s}$  d'un bit, la phase augmente ou diminue suivant la valeur du bit.

Cette porteuse peut aussi s'écrire :

$$e(t) = E \cos[(\omega_0 \pm \pi/2 T_{\text{bit}}) \cdot t] \quad \text{elle a une fréquence } f = f_0 \pm 1/T_{\text{bit}} = f_0 \pm 68 \text{ kHz}$$

ce qui correspond à une **modulation de fréquence** de type GMSK ( Gaussian Minimum Shift Keying).

Cette porteuse modulée est produite de la façon suivante :

- la porteuse correspondant au canal alloué est produite par le VCO ( oscillateur commandé en tension) du synthétiseur de fréquence piloté par le circuit de contrôle du téléphone
- cette porteuse est modulée par les signaux TXI et TXQ pour produire le signal modulé GMSK
- ce signal est débarrassé d'éventuels harmoniques par les filtres passe-bande à onde de surface
- le signal est enfin amplifié pour être amené au niveau d'émission souhaité

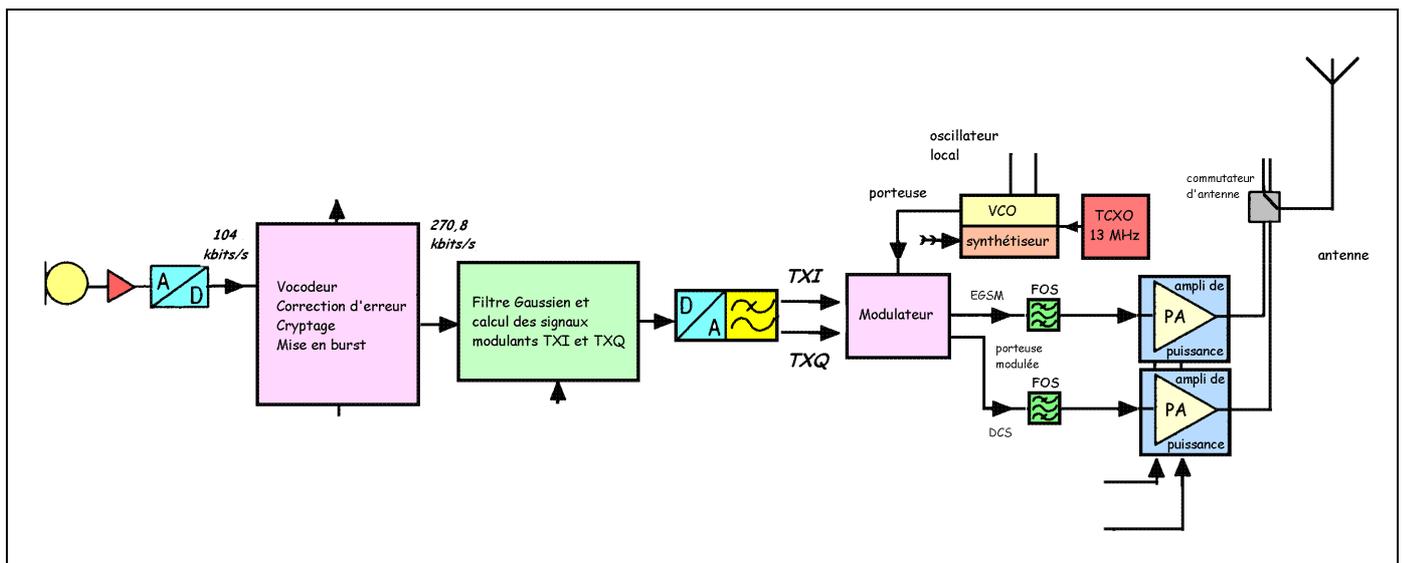


Figure 28. La chaîne complète des circuits d'émission du GSM.

### Détail du circuit de modulation :

Si on développe l'expression ci-dessus, on trouve :

$$e(t) = E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) - E \sin(\varphi(t)) \cdot \sin(\omega_0 t) = E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) + E \sin(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2)$$

qui peut s'écrire : 
$$e(t) = TXI(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + TXQ(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2)$$

La structure produisant le signal modulé est directement inspirée du résultat précédent :

- dans le DSP, le signal binaire est intégré pour obtenir  $\varphi(t) = \pm \pi/2 T_{\text{bit}}$
- le DSP calcule le cosinus et le sinus :  $TXI(t) = E \cdot \cos(\varphi(t))$  et  $TXQ(t) = E \cdot \sin(\varphi(t))$
- dans le modulateur, les signaux TXI(t) et TXQ(t) sont multipliés par la porteuse à  $\omega_0$
- les signaux résultants sont additionnés et donnent la porteuse modulée :

$$e(t) = E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) + E \sin(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2) = E \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$

## 25- La régulation de la puissance émise

La puissance maximale que doit fournir l'amplificateur de puissance de sortie PA est de 2W pour le GSM (33dBm) et 1W pour le DCS (30 dBm).

L'alimentation des amplificateurs de sortie ou PA est reliée directement à la batterie ce qui veut dire que celle ci doit être capable de fournir le courant maximum nécessaire pendant un burst.

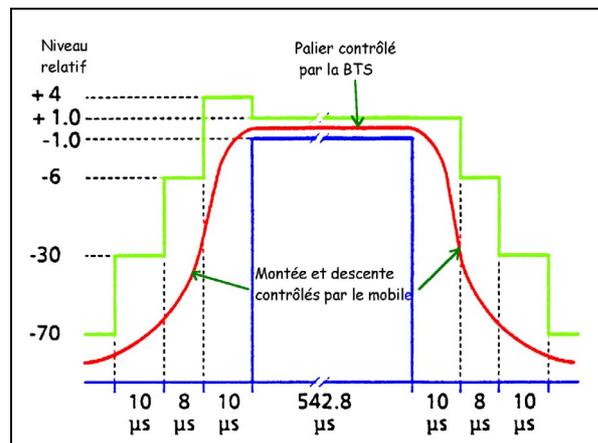
Le rendement des PA étant d'environ 50%, ils doivent pouvoir évacuer une énergie non négligeable à l'origine de l'échauffement du mobile.

Le contrôle de la puissance est indispensable pour 2 raisons :

- en phase d'émission, la puissance est réglée à une valeur juste suffisante par la station de base pour une liaison sans erreurs et une consommation minimale
- en début et fin d'émission, la forme de la montée et de la descente de la puissance est contrôlée par le circuit de gestion du mobile, pour un encombrement spectral minimal

Une montée progressive de l'émission permet de limiter l'encombrement spectral du signal modulé. C'est la raison pour laquelle la norme GSM prévoit un gabarit de montée en puissance lors de l'émission d'un burst. Si le profil de montée n'est pas bien ajusté, le spectre du téléphone déborde du canal, et risque de perturber d'autres mobiles.

Figure 29. Gabarit de montée et descente en puissance du GSM (PA Level).



Pour une occupation spectrale minimale, la forme exacte de la courbe de montée et de descente en puissance a une grande importance et fait l'objet d'une calibration précise à la production.

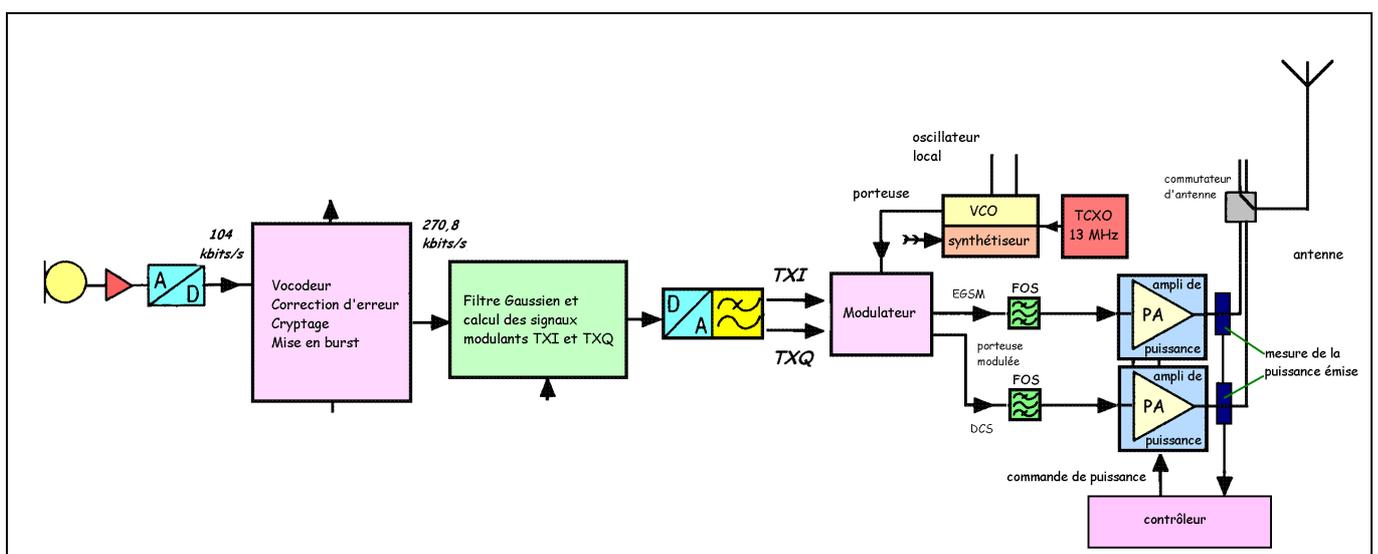


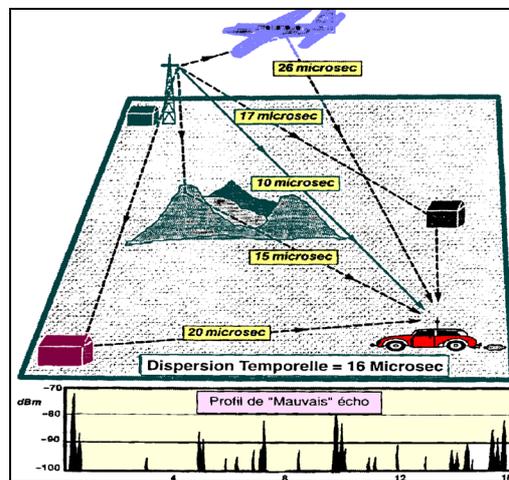
Figure 30. La commande de la puissance d'émission.

## 26- Les étages de réception du mobile

Dans le téléphone mobile, une structure classique à changement de fréquence permet de sélectionner le signal de la BTS qu'on souhaite recevoir :

- les filtres d'entrée GSM et DCS fixent la bande reçue et éliminent les signaux indésirables (émissions TV, DECT, autres mobiles GSM à proximité...)
- les **amplificateurs LNA** à faible bruit assurent une première amplification
- les filtres à ondes de surface en sortie des LNA complètent l'action des filtres d'entrée
- les **mélangeurs** du circuit RF permettent de faire la transposition en fréquence des signaux reçus vers la fréquence  $f_i$  par mélange avec le signal issu du synthétiseur.
- l'**amplificateur  $f_i$**  (PGC) permet de garantir des niveaux constants pour les signaux RXI et RXQ sachant que les niveaux à l'antenne sont variables (-40dBm à -110 dBm).
- le **démodulateur I/Q**, récupère les signaux RXI et RXQ après mélange avec une fréquence  $f_i$  venant d'un second synthétiseur.
- les signaux IQ sont ensuite amplifiés et filtrés par un filtre passe bas, puis entrent dans le DSP par un CAN
- le filtre d'égalisation compense les déformations liées à la propagation dues aux échos et aux trajets multiples du signal

Figure 31.  
Les trajets multiples dans une liaison base-mobile.



Une fois ces échos compensés, les signaux RXI et RXQ ont des formes satisfaisantes et peuvent être traités par le DSP :

- les données binaires sont ensuite extraites des signaux RXI et RXQ par un dispositif de prise de décision logiciel
- elles sont décryptées et subissent la décompression temporelle
- le vocodeur reçoit ces données et restitue le signal binaire vocal
- ce signal binaire est converti en analogique par le CNA, amplifié et envoyé sur le haut-parleur

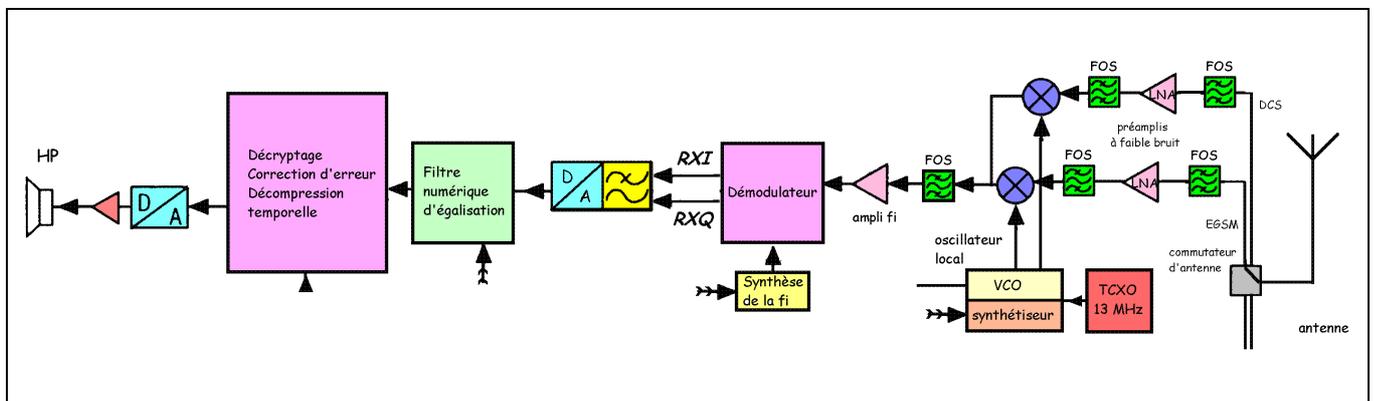
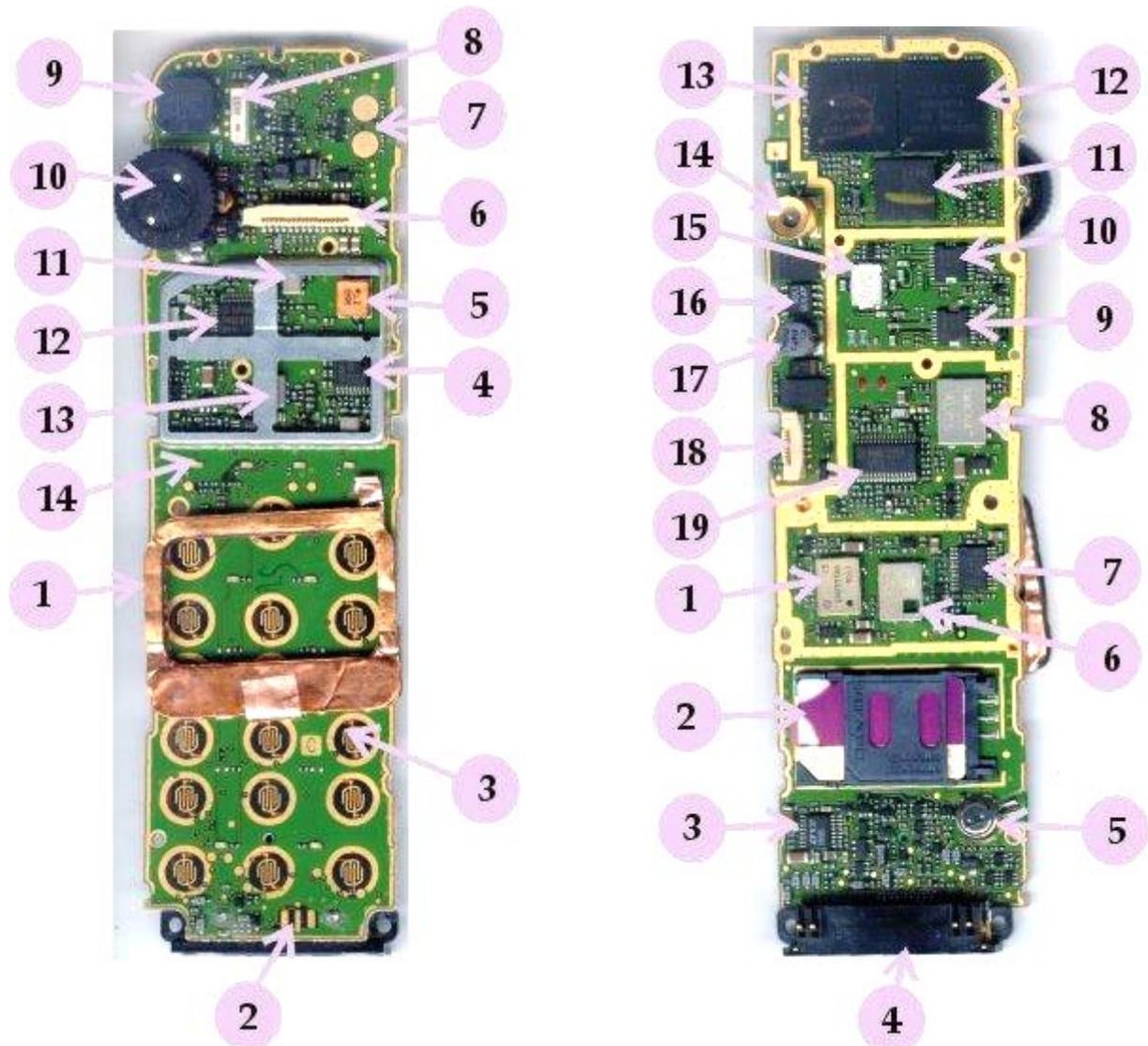


Figure 32. Les étages de réception du mobile GSM.

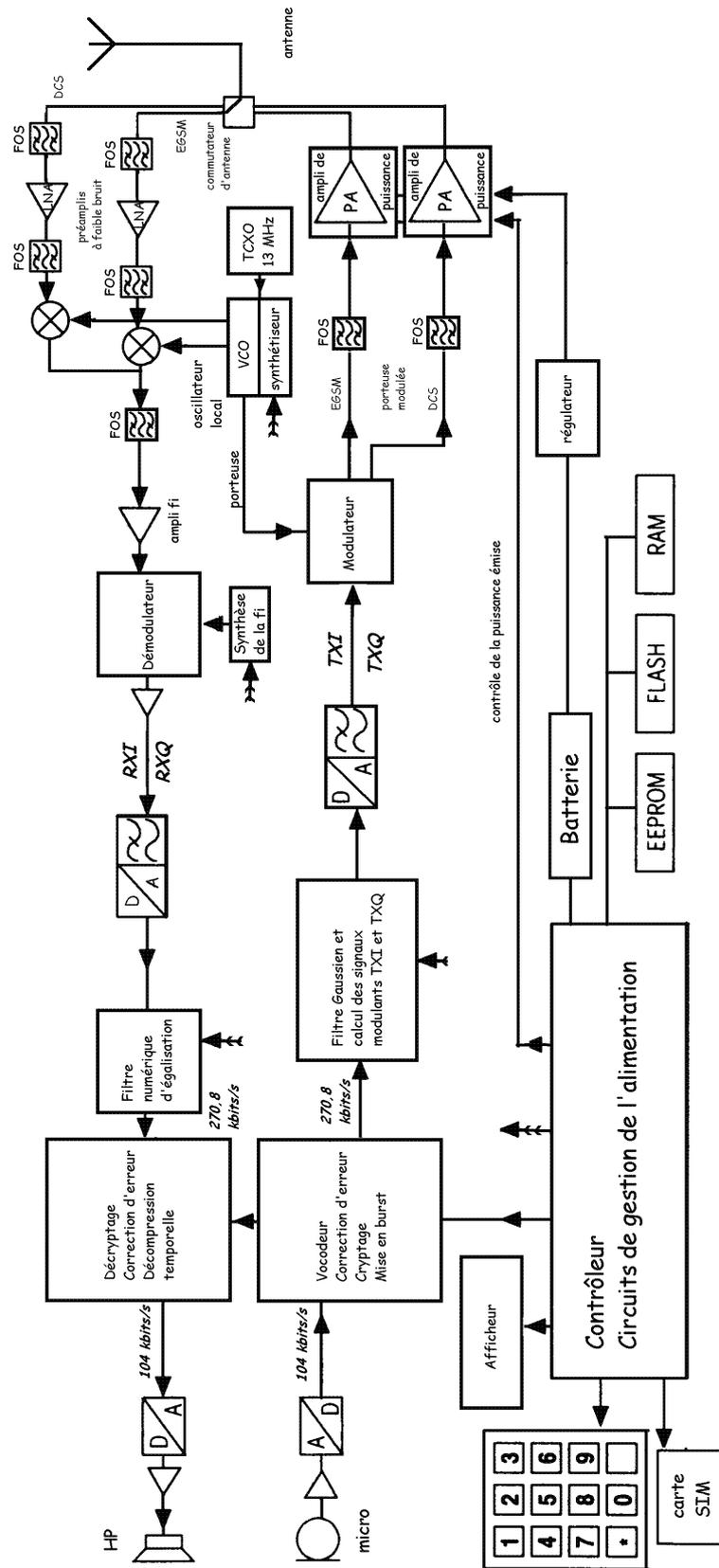
## Annexe 1- Anatomie du mobile bi-bande Sony CD5



- 1- blindage
- 2- connecteur du microphone
- 3- clavier
- 4- préampli et mélangeur DCS
- 5- filtre d'entrée DCS
- 6- connecteur
- 7- contacts du haut-parleur
- 8- quartz
- 9- buzzer
- 10- molette de navigation
- 11- filtre GSM
- 12- circuit RF de réception
- 13- filtre fi de réception
- 14- PCB

- 1- oscillateur de référence 13 MHz
- 2- carte SIM
- 3- circuit d'alimentation
- 4- connecteur
- 5- batterie de sauvegarde
- 6- VCO produisant la porteuse
- 7- CI synthétiseur de la porteuse
- 8- VCO du synthétiseur des canaux
- 9- ampli de sortie DCS
- 10- ampli de sortie GSM
- 11- mémoire
- 12- DSP
- 13- Contrôleur
- 14- Connecteur d'antenne
- 15- Commutateur d'antenne
- 16- Convertisseur DC/DC
- 17- bobine du convertisseur
- 18- connecteur
- 19- CI synthétiseur des canaux

## Annexe 2- Schéma fonctionnel d'un mobile GSM





# Structure du mobile GSM

**Jean-Philippe Muller**

Version 07/2002

## Sommaire :

- 1- Le schéma fonctionnel d'un mobile GSM
- 2- Le traitement numérique du signal à l'émission
- 3- Le principe de base du vocodeur
- 4- Le fonctionnement du vocodeur
- 5- La protection des données numériques
- 6- Le filtrage Gaussien du signal binaire
- 7- La modulation MSK
- 8- La structure complète du modulateur GMSK
- 9- Oscillogramme des signaux TXI et TXQ
- 10- La production de la porteuse modulée
- 11- Maîtrise du spectre par contrôle du niveau émis
- 12- La régulation de la puissance émise
  
- 13- La réception des signaux de la station de base
- 14- Le problème de la fréquence image
- 15- Exemple de structure de réception
- 16- L'égalisation du signal à la réception
- 17- Le traitement numérique à la réception

Exemple de schéma fonctionnel des circuits RF d'un mobile Sony

## 1-Schéma fonctionnel d'un mobile GSM

De façon générale, on peut décomposer le mobile en 4 parties principales :

- le codage/décodage de la voix appelé aussi traitement en bande de base
- les circuits de modulation et d'émission
- les circuits de réception et de démodulation
- les circuits de contrôle (émission/réception, porteuse, puissance, alimentations ...)

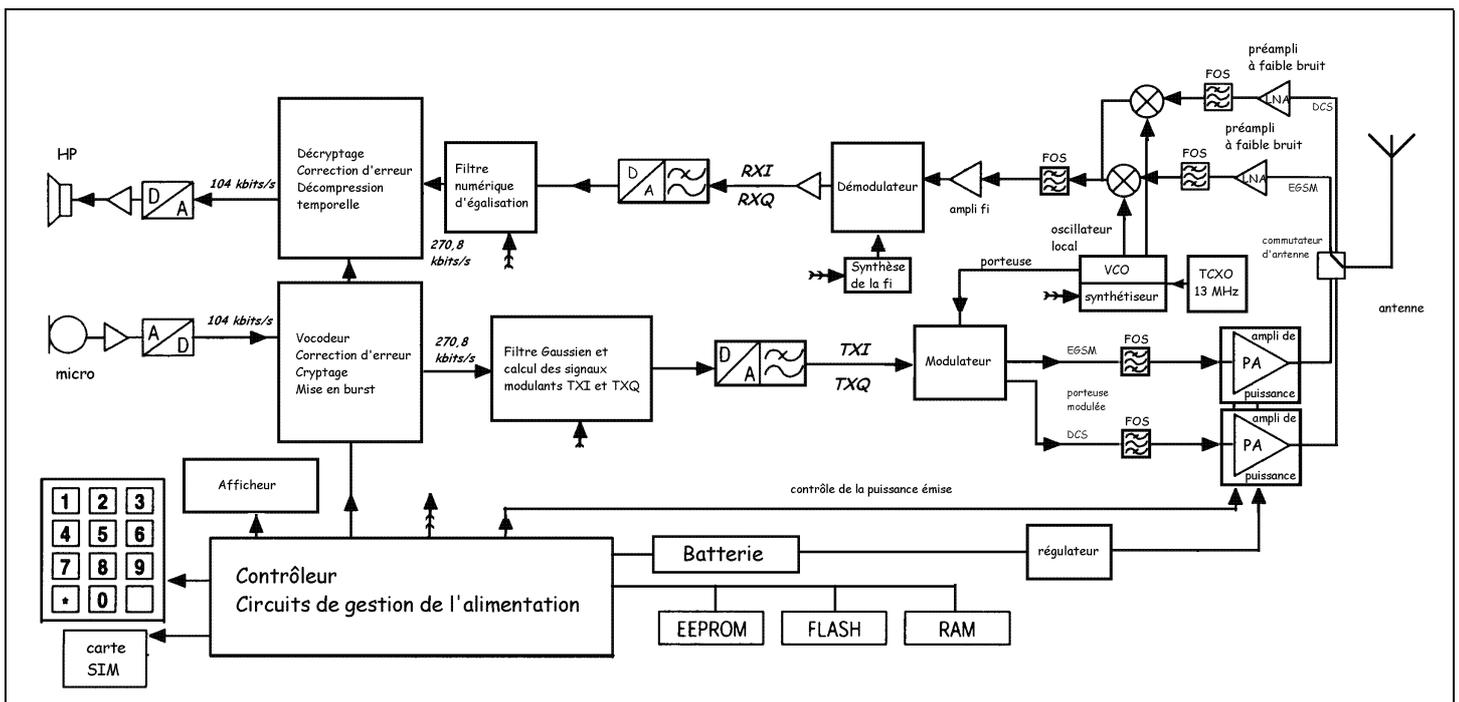


Figure 1. Structure générale d'un mobile GSM.

Pour une bonne compréhension des différents traitements du signal à l'émission et à la réception, nous allons suivre le signal du microphone jusqu'à l'antenne (émission), puis de l'antenne au haut-parleur (réception).

## 2- Le traitement numérique du signal à l'émission

Le GSM est un téléphone numérique, la voix est donc digitalisée et traitée par un processeur de signal.

Les données numériques contenant le signal vocal subissent ensuite un traitement numérique qui les met sous une forme particulière ( signaux TXI et TXQ) permettant la réalisation aisée du modulateur GMSK.

La totalité du traitement numérique du signal vocal est effectué actuellement par un seul circuit intégré qui se charge de l'ensemble des opérations, du microphone aux signaux TXI et TXQ.

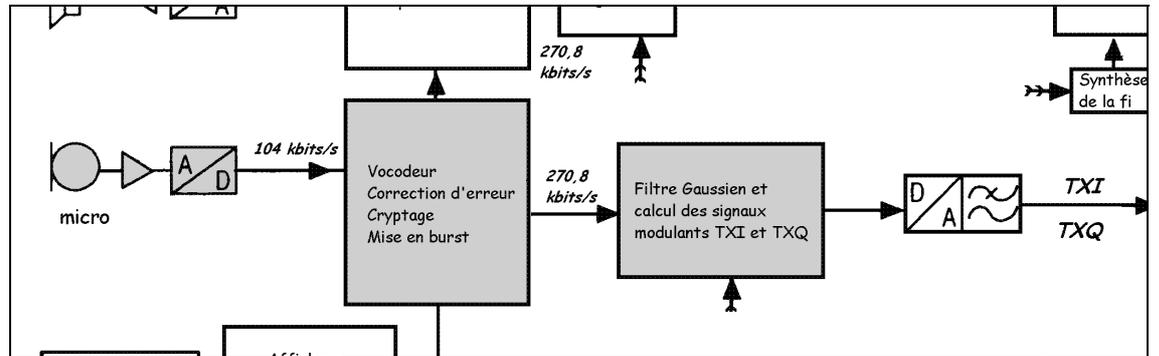


Figure 2. Codage et décodage de la voix dans le mobile GSM.

A l'émission, les opérations en bande de base sont les suivantes :

- le son est capté par le microphone qui fournit un signal analogique
- il entre dans le DSP par un convertisseur analogique-numérique
- le signal binaire est traité par le vocodeur, puis crypté et codé
- les données sont regroupées en paquets de 155 bits et de durée 577  $\mu$ s par trame de 4,6ms
- ces paquets ( ou salves ou bursts) sont traités par un filtre Gaussien
- par calcul, on extrait enfin les signaux TXI et TXQ qui, après leur passage dans un CNA, attaqueront le modulateur

Dans le cas du GSM, on a choisi d'échantillonner le signal vocal à 8 kHz et de le coder sur 13 bits, ce qui nous donne un débit de base de 104 kbits/s.

Ce débit de base sera pratiquement doublé (environ 208 kbits/s) suite à l'introduction indispensable de :

- **codes correcteurs d'erreurs** permettant de réparer à l'arrivée les erreurs de transmission qui ont pu s'introduire à la suite d'aléas de propagation ou de parasites
- **algorithmes de cryptage** assurant une certaine confidentialité des communications

Sachant qu'un mobile partage le canal avec 7 autres mobiles, le signal numérique doit subir une compression temporelle, ce qui a pour conséquence un débit 8 fois plus grand soit environ 1,66 Mbits/s.

Une porteuse modulée par un signal numérique de débit D occupe au minimum une bande de largeur D, ce qui déborde très largement du canal attribué à une liaison GSM.

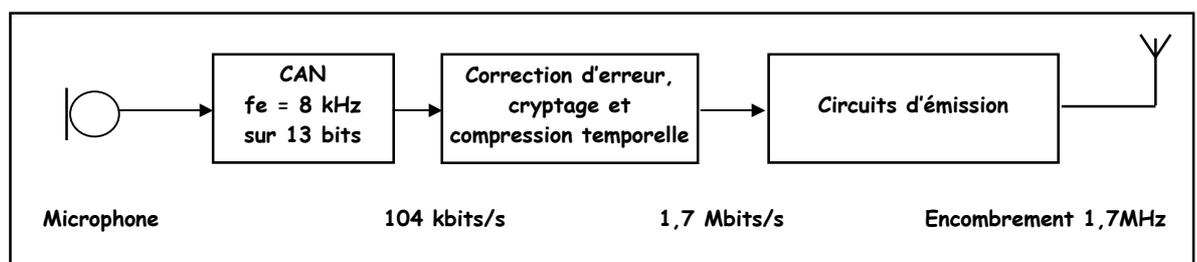


Figure 3. L'émission du signal non traité conduit à un encombrement spectral excessif

C'est la raison pour laquelle on a développé pour le GSM un système de codage de la voix particulier permettant de réduire le débit de base de 104 à 13 kbits/s : c'est le rôle du **vocodeur** ou **codec**.

### 3- Le principe de base du vocodeur

Le vocodeur du GSM est assez performant puisqu'il permet de conserver une qualité satisfaisante du message vocal en réduisant par un facteur d'environ 8 la quantité de données binaires nécessaires à la transmission de ce message.

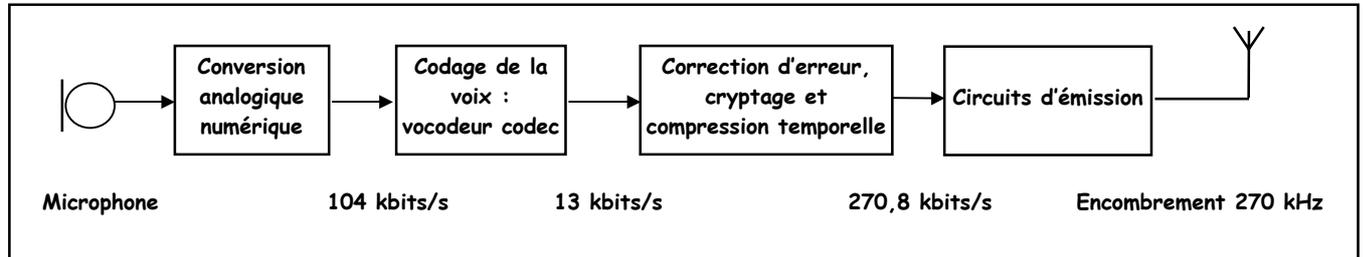
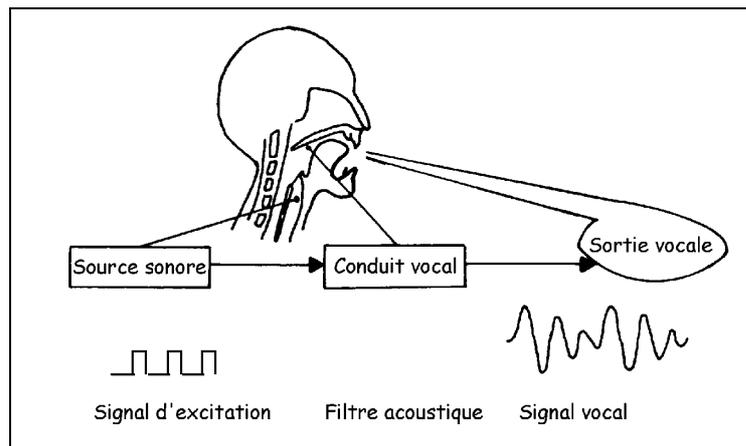


Figure 4. Réduction de débit apportée par le vocodeur

Les informations binaires sont complétées par des bits de contrôle et la séquence d'entraînement pour constituer le burst qui est caractérisé par un **débit à l'émission de 270,8 kbits/s** ce qui permet de faire tenir à peu près la porteuse modulée dans le canal de 200 kHz.

Le **vocodeur** utilise les propriétés du signal vocal pour réduire le débit numérique. L'appareil phonatoire humain peut être vu comme un filtre acoustique, dont les caractéristiques varient quand on parle, excité par un signal périodique provenant de la vibration des cordes vocales.

Figure 5.  
L'appareil  
phonatoire  
humain.



Lorsqu'on parle dans le microphone d'un mobile GSM, le vocodeur découpe la voix numérisée en tranches de durée 20 ms, soit 160 échantillons codés sur 13 bits et donc 2280 bits.

Pour chacune de ces tranches de signal, le vocodeur modélise le conduit vocal sous la forme de deux filtres numériques en cascade, caractérisés chacun par leur algorithme:

- le filtre Linear Predictive Coder :  $y_n = a_1y_{n-1} + a_2y_{n-2} + a_3y_{n-3} + a_4y_{n-4} + a_5y_{n-5} + a_6y_{n-6} + a_7y_{n-7} + a_8y_{n-8}$
- le filtre Long Term Prediction :  $y_n = x_n - by_{n-N}$

et détermine le signal d'excitation RPE (regular pulse excitation) défini par son amplitude et sa fréquence qu'il faut mettre à l'entrée des filtres précédents pour reconstituer le signal de parole.

Le vocodeur va donc remplacer les échantillons du signal vocal par les paramètres des deux filtres et du signal d'excitation et ce sont ces paramètres qui seront transmis par radio vers la base.

La station de base mettra en oeuvre les deux filtres LPC et LTP, les attaquera par le signal d'excitation adéquat et pourra ainsi reconstituer le message vocal.

Ce processus est bien-sûr aussi mis en oeuvre dans le mobile GSM lors de la réception d'un message de la station de base.

## 4-Fonctionnement du vocodeur

Le signal d'excitation, décrit par les coefficients  $x$  et  $M$ , est actualisé 4 fois dans une tranche de 20 ms, ce qui correspond à 188 bits.

Les coefficients  $b$  et  $N$  du filtre LTP sont également actualisés 4 fois par tranche de 20 ms et codés sur 2 bits pour  $b$  et 7 bits pour  $N$ . cela correspond à 36 bits pour une tranche de 20 ms.

Les coefficients du filtre LPC sont valables pour toute la tranche de 20 ms et codés sur 6 bits pour  $a_1$  et  $a_2$  sur 5 bits pour  $a_3$  et  $a_4$ , sur 4 bits pour  $a_5$  et  $a_6$  et sur 3 bits pour  $a_7$  et  $a_8$ .

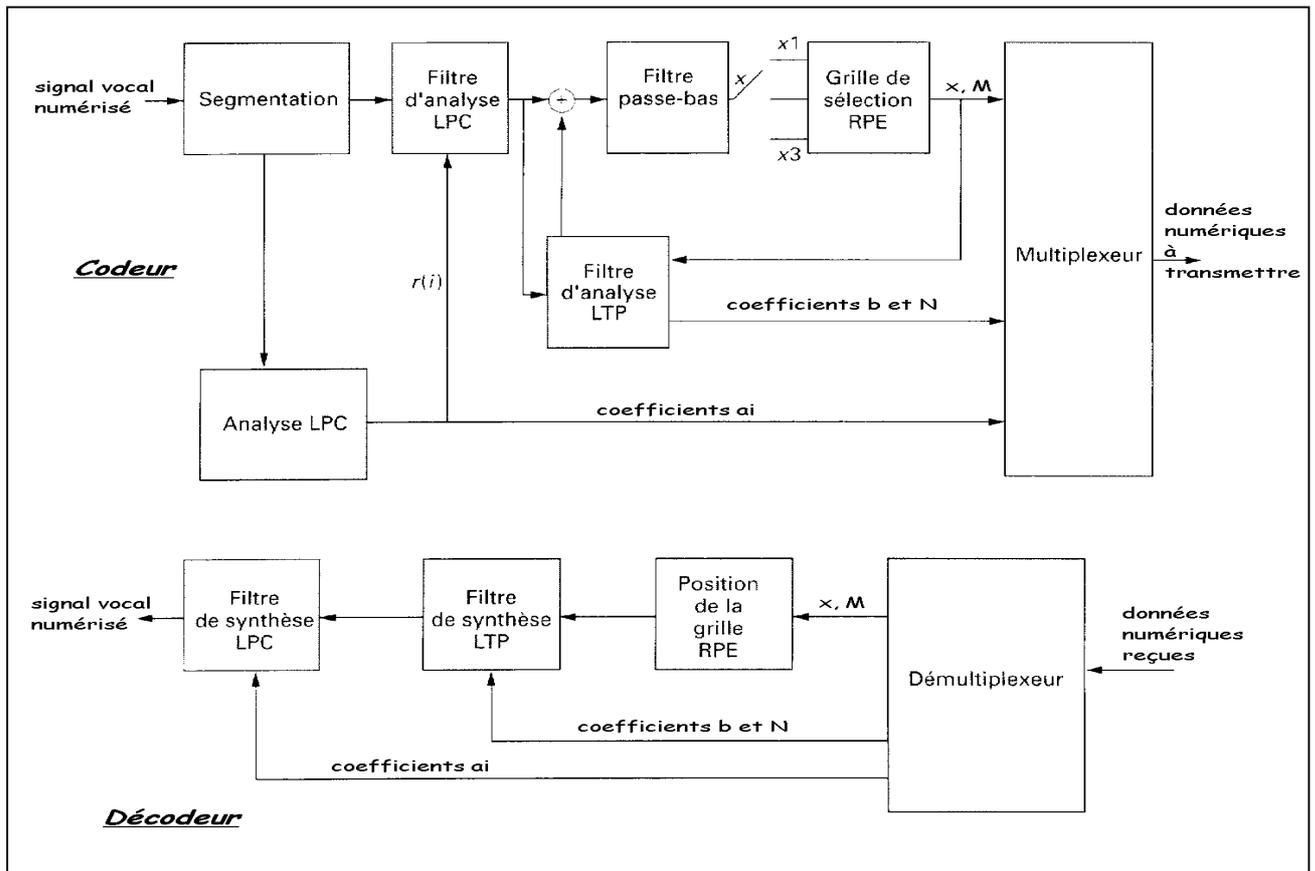


Figure 6. Structure du vocodeur à l'émission et à la réception.

Au cours d'une communication et pour chaque tranche de 20 ms, le mobile GSM transmet à son correspondant les valeurs  $a_i$  des paramètres du filtre LPC (36 bits), les coefficients  $b$  et  $N$  du filtre LTP (36 bits) et les caractéristiques du signal d'excitation RPE (188 bits). Cela nous donne **260 bits pour une tranche de 20 ms**, soit un débit de **13 kbits/s**.

On peut dire un peu schématiquement que le GSM ne transmet pas un signal vocal de grande qualité, mais un signal vocal grossier (RPE) et les paramètres d'un filtre numérique (LTP + LPC) qui reconstituera le signal vocal de qualité à partir du signal vocal grossier.

C'est dans la façon de réaliser cette analyse qu'on peut trouver des variantes et les algorithmes récents sont plus performants que ceux utilisés dans les premiers mobiles GSM (c'est cette amélioration de qualité qui est mise en avant dans la publicité pour le « son numérique Bouygues »)

## 5- La protection des données numériques

Une fois le débit vocal compressé par le vocodeur, il faut protéger le signal numérique contre les erreurs de transmission.

Les 260 bits produits par le vocodeur toutes les 20 ms n'ont pas tous la même importance vis-à-vis de la qualité du signal vocal. C'est la raison pour laquelle ils sont groupés en 3 classes :

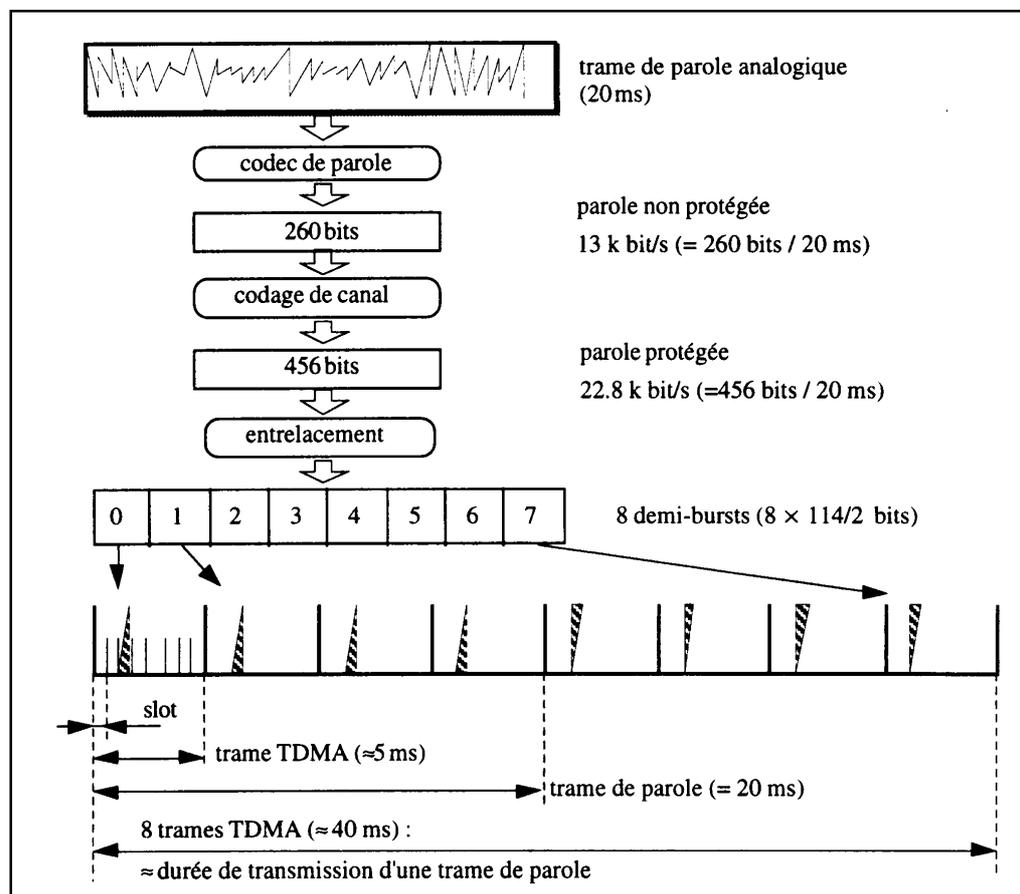
- 50 bits très importants
- 132 bits importants
- 78 bits peu importants

Les bits de la première catégorie sont particulièrement bien protégés contre les erreurs par un codage convolutionnel introduisant une certaine redondance, et des bits de vérification permettant la détection des erreurs et la demande de retransmission du signal erroné.

Les deuxièmes et troisièmes classes sont respectivement moins bien ou pas du tout protégées contre les erreurs de transmission.

A l'issue de cette protection contre les erreurs de transmission, le débit binaire aura augmenté et sera passé de 13 kbits/s à **22,8 kbits/s**.

Figure 7.  
Répartition d'une  
tranche de  
parole dans les  
time-slots.



Pour protéger les données durant la transmission, elles sont réparties dans 8 time-slots, mélangées aux données de la tranche précédente et de la tranche suivante.

Le message vocal a été numérisé, le débit a été compressé par le vocodeur, et les données numériques résultantes ont été protégées contre les erreurs, cryptées et entrelacées.

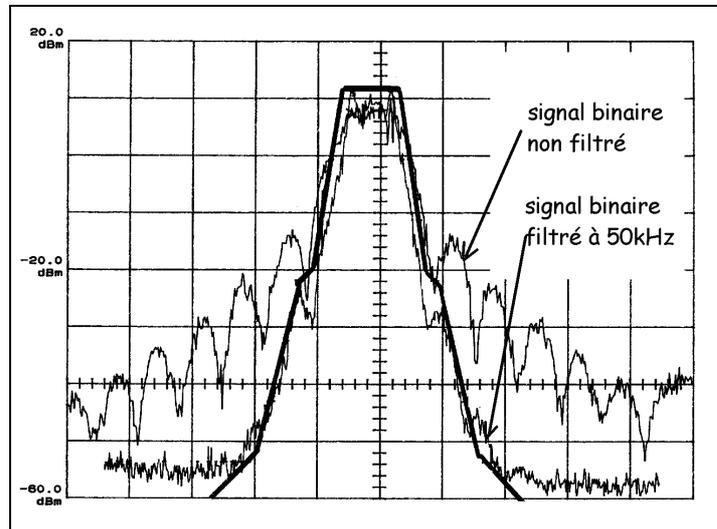
Elles sont maintenant prêtes à moduler la porteuse.

## 6- Le filtrage Gaussien du signal binaire :

Lorsqu'on module une porteuse par un signal binaire, l'encombrement spectral du signal RF obtenu est toujours excessif à cause des fronts du signal binaire.

C'est pourquoi, dans tous les systèmes de communication numérique et le GSM ne fait pas exception, la forme du signal binaire à transmettre est toujours dégradée, et ce quel que soit le type de modulation utilisé. Le signal binaire sera restitué à l'arrivée par un dispositif logiciel de prise de décision.

Figure 8.  
Spectre d'une porteuse modulée en fréquence par un signal binaire non filtré et filtré

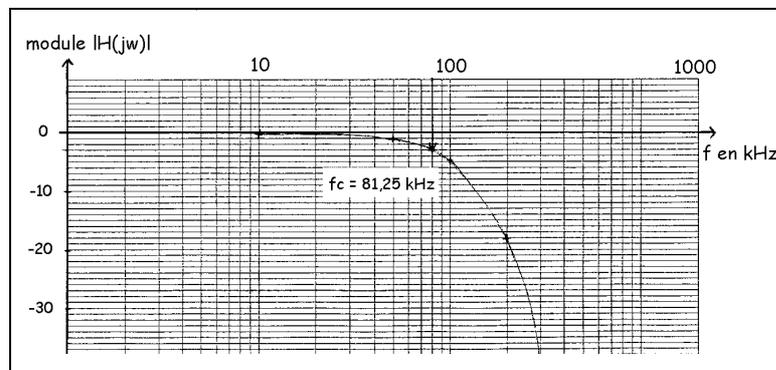


- signal binaire de type GSM
- débit  $D = 270,8$  kbits/s
- indice de modulation  $m = 0,5$
- filtrage du deuxième ordre
- $f_c = 50$  kHz

On peut constater que, même avec un filtrage passe-bas non optimisé, le spectre du signal modulé tient à peu près dans le gabarit d'un signal GSM.

Dans le cas spécifique du GSM, on utilise un filtrage passe-bas d'un type particulier : le **filtre passe-bas gaussien**, qui est un filtre numérique transformant les impulsions carrées du signal binaire brut initial en impulsions en forme de « cloches » assez arrondies.

Figure 9.  
Courbe de réponse du filtre Gaussien du GSM.



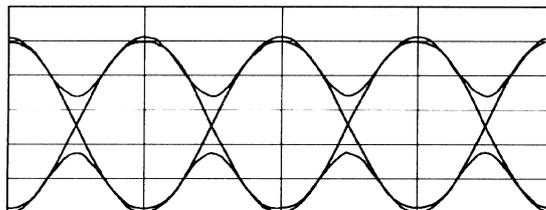
Transmittance du filtre gaussien:

$$H(f) = \exp(-f^2/138)$$

avec  $f$  en kHz

Le diagramme de l'œil correspondant à un signal numérique filtré par un tel filtre gaussien montre bien que les fronts raides ont disparu et ont été remplacés par des impulsions arrondies.

Figure 10.  
Allure du signal binaire filtré par un filtre Gaussien.



Ce signal représente les variations de la fréquence de la porteuse émise par le GSM.

Il est obtenu dans le mobile GSM non pas par filtrage du signal binaire, mais par **concaténation** de formes gaussiennes en mémoire dans une ROM.

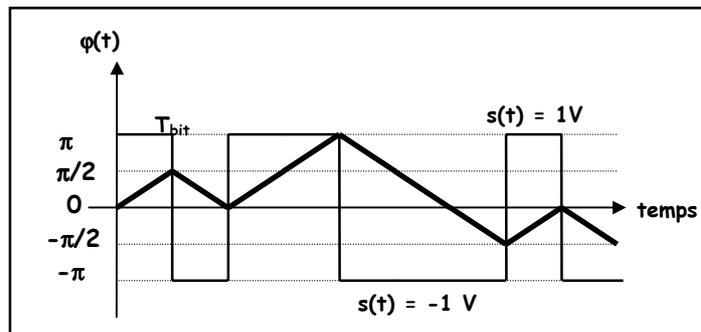
## 7- La modulation MSK :

Le mobile GSM émet une porteuse de fréquence  $f_0$  modulée en fréquence ou en phase qui s'écrit, si on fait abstraction du filtrage gaussien :

$$e(t) = E \cos(\omega_0 t + \varphi(t)) \quad \text{avec} \quad \begin{aligned} \varphi(t) &= \pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{si on transmet un « 1 »} \\ \varphi(t) &= -\pi t / 2T_{\text{bit}} \quad \text{si on transmet un « 0 »} \end{aligned}$$

Pendant la durée d'un bit, la phase évolue linéairement avec une pente positive ou négative suivant la valeur du bit, et prend à la fin de la transmission du bit la valeur très particulière de  $\pm \pi/2$ .

Figure 11.  
Evolution de la phase de la porteuse dans la modulation MSK



Si on développe l'expression ci-dessus, on trouve :

$$\begin{aligned} e(t) &= E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) - E \sin(\varphi(t)) \cdot \sin(\omega_0 t) \\ &= E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) + E \sin(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2) \end{aligned}$$

qui peut s'écrire :  $e(t) = TXI(t) \cdot \cos(\omega_0 t) + TXQ(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2)$

La structure produisant le signal modulé est directement inspirée du résultat précédent :

- le signal binaire est intégré par un intégrateur numérique pour obtenir  $\varphi(t)$  :  $\varphi(t) = \pm \pi t / 2T_{\text{bit}}$
- le processeur calcule le cosinus et le sinus :  $TXI(t) = E \cdot \cos(\varphi(t))$  et  $TXQ(t) = E \cdot \sin(\varphi(t))$
- les signaux I(t) et Q(t) sont multipliés par la porteuse à  $\omega_0$  et la même porteuse déphasée de  $\pi/2$
- les signaux résultants sont additionnés et donnent la porteuse modulée :

$$e(t) = E \cos(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t) + E \sin(\varphi(t)) \cdot \cos(\omega_0 t + \pi/2) = E \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$

Le principal avantage de cette structure par rapport à l'utilisation d'un VCO est qu'elle produit un signal modulé à partir du signal issu d'un oscillateur à fréquence fixe.

On pourra donc obtenir une excellente stabilité de la porteuse  $f_0$  qui vient d'un étage synthétiseur de fréquence stabilisé par l'oscillateur à quartz 13 MHz de référence.

### Remarque importante :

Si on calcule la fréquence instantanée  $f(t)$  de la porteuse modulée, on trouve :

$$\omega(t) = d\theta(t)/dt = d[\omega_0 t + \varphi(t)]/dt = \omega_0 \pm \pi / 2T_{\text{bit}} \quad \text{et donc} \quad f(t) = f_0 \pm 1/4T_{\text{bit}} = f_0 \pm 68 \text{ kHz}$$

La modulation du GSM peut aussi être vue comme une modulation de fréquence caractérisée par

- une excursion en fréquence de  $\Delta f = \pm 68 \text{ kHz}$
- une fréquence de signal modulant  $F = 1/2T_{\text{bit}} = 135,4 \text{ kHz}$  (pour une séquence 1010101010...)
- un indice de modulation  $m = \Delta f / F = 0,5$

Cette valeur de  $m=0,5$  correspond en modulation de fréquence à l'appellation **Minimum Shift Keying**.

## 8- La structure complète du modulateur GMSK :

Pour tenir compte de ce que nous avons vu précédemment, à savoir limiter les lobes secondaires dans le spectre du signal émis, il convient de filtrer le signal binaire  $s(t)$  par un filtre numérique de type gaussien qui arrondit les flans du signal binaire.

Les variations de phase ne seront donc plus linéaires avec une pente qui est fonction de la valeur du bit transmis, mais plus progressives.

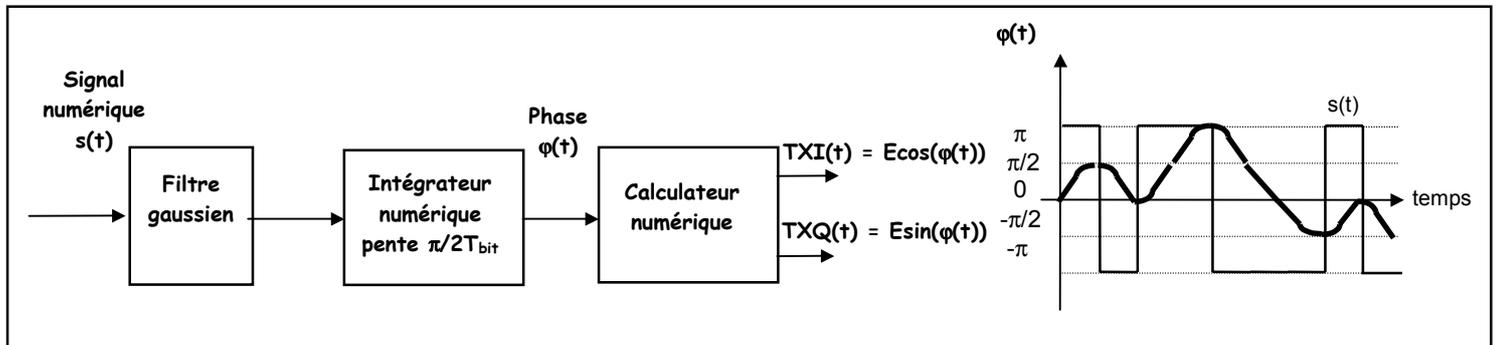


Figure 12. Influence du filtre Gaussien sur la courbe de phase

A cause de ce filtrage gaussien, la modulation ne s'appelle plus **MSK** mais **GMSK** (**G**aussian **M**inimum **S**hift **K**eying).

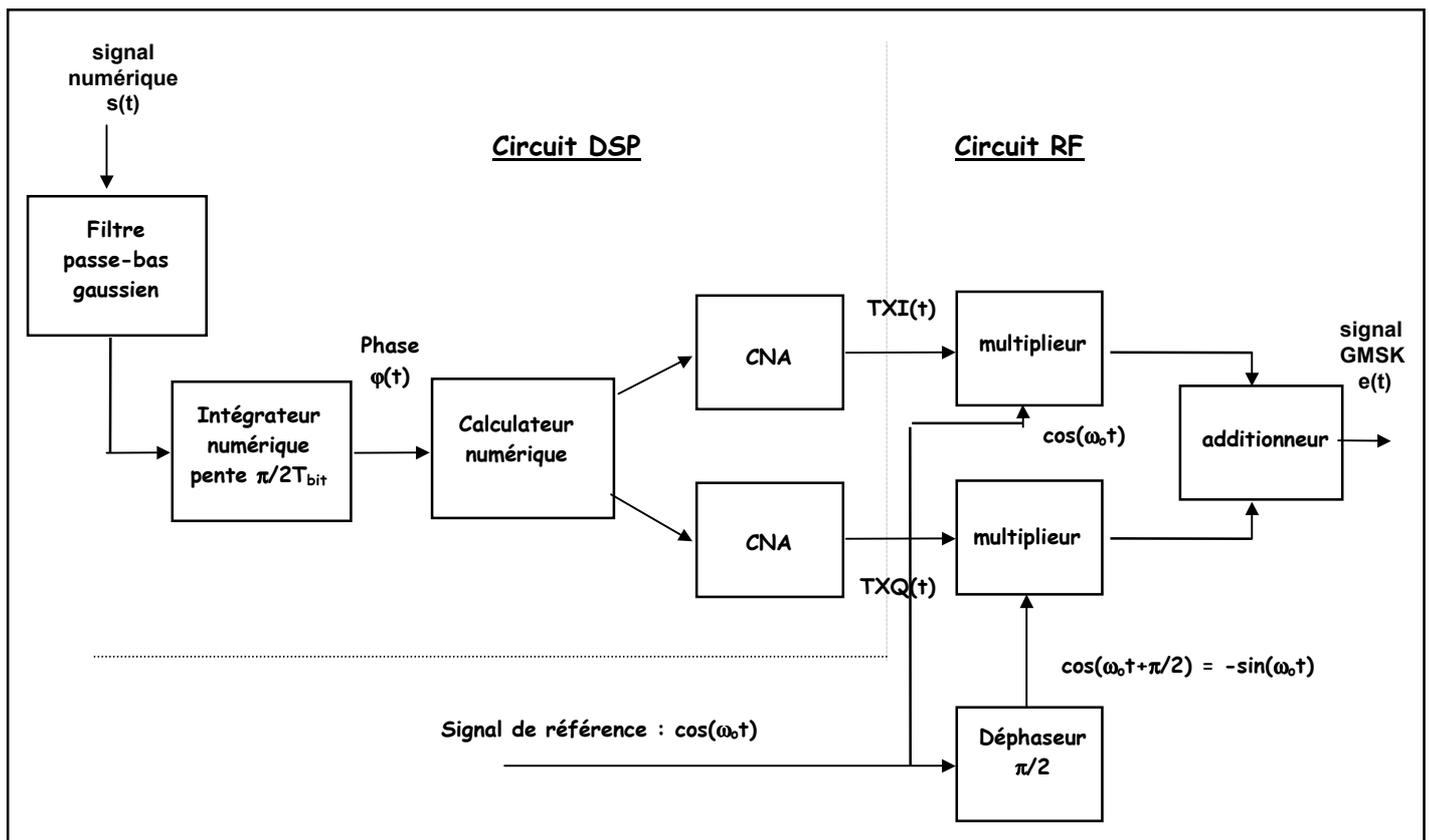


Figure 13. Le modulateur GMSK complet

Ce modulateur GMSK se trouve physiquement :

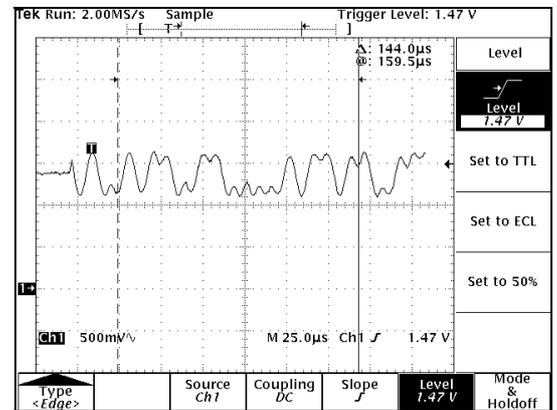
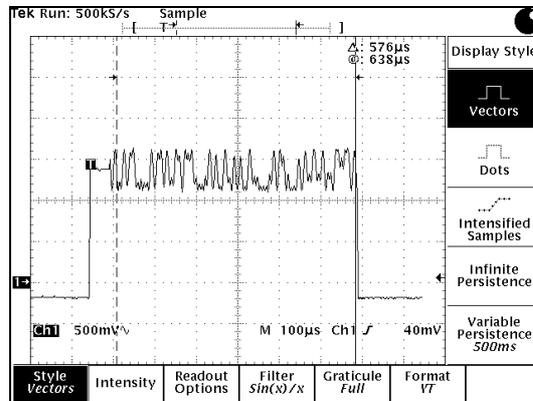
- pour moitié dans le circuit de traitement numérique (DSP) qui effectue tous les traitements allant du codage de la voix jusqu'au calcul des signaux TXI et TXQ
- pour moitié dans le circuit RF qui produit les porteuses GSM et DCS modulées

Les signaux TXI et TXQ qui sortent des CNA du DSP se trouvent donc à l'interface entre le traitement numérique et RF et peuvent être visualisés ( ... en attendant le GSM en un boîtier !)

## 9- Oscillogramme des signaux TXI et TXQ :

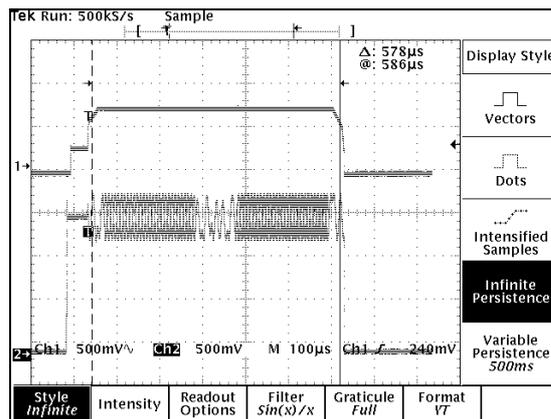
L'oscillogramme des signaux TXI et TXQ met en évidence l'action du filtre gaussien sur le signal numérique. Une vue dilatée de ce signal montre bien le caractère très « arrondi » du signal attaquant le modulateur.

Figure 14. Allure du signal TXI.



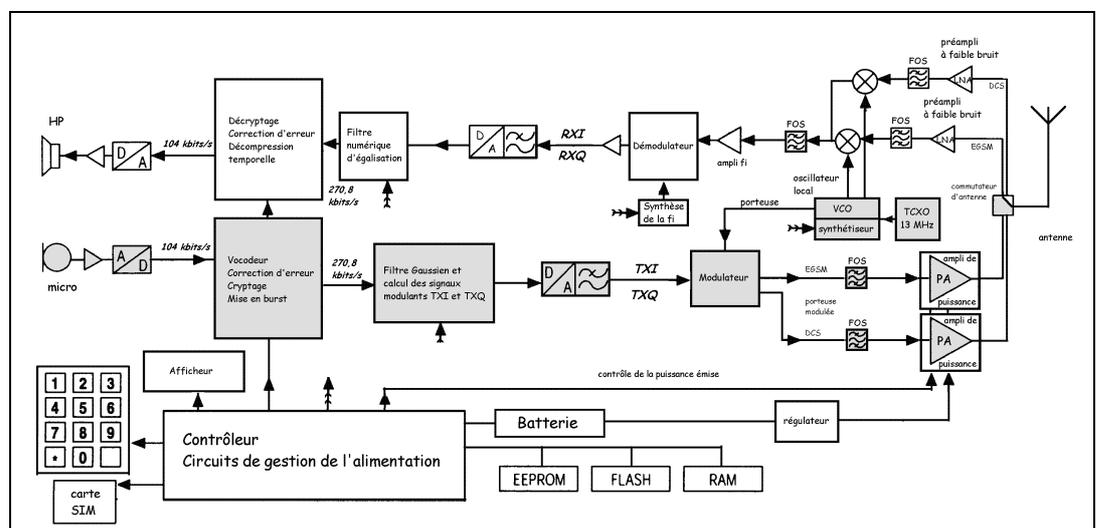
Lorsqu'on superpose un grand nombre de salves, on peut constater que les bits de la « training sequence » restent bien invariables, comme d'ailleurs les bits de garde.

Figure 15. Superposition de salves TXI.



Les signaux TXI et TXQ se ressemblent, et les variations de ces deux signaux produisent la variation de fréquence correspondante de la porteuse.

Figure 16. Les étages d'émission dans un mobile GSM.



## 10- La production de la porteuse modulée :

Dans un mobile, la porteuse est rarement modulée directement par les signaux TXI et TXQ porteurs de l'information. Diverses configurations sont utilisées par les différents constructeurs de mobiles.

Dans l'exemple ci-dessous, c'est un signal de fréquence  $f = 195$  MHz ( pour la bande GSM) qui est modulé en GMSK. Ce signal est produit par la boucle de synthèse LO2.

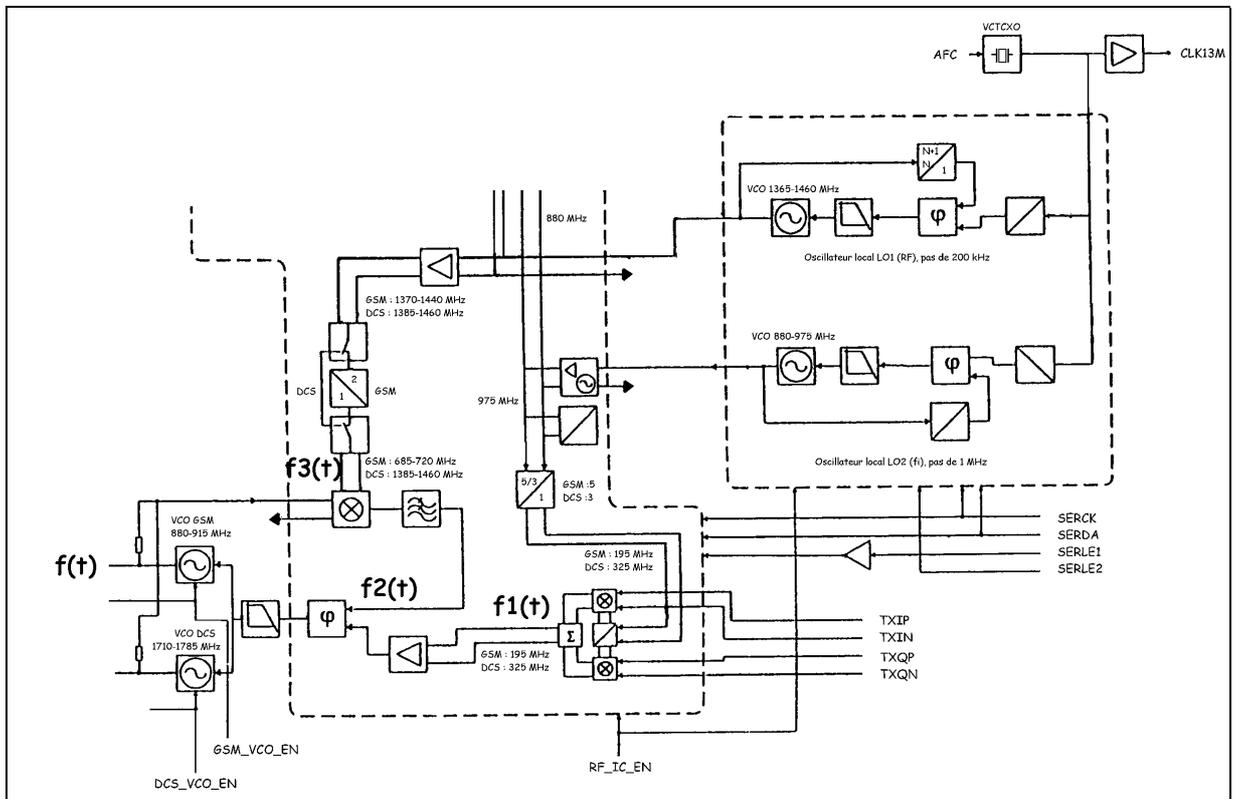


Figure 17. Les circuits de production de la porteuse modulée

Le signal en sortie du modulateur a donc une fréquence (en MHz) qui s'écrit :

$$f_1(t) = 195 + k.s(t) \quad \text{si } s(t) \text{ est le signal modulant}$$

Ce signal est injecté dans le comparateur de phase de la PLL de production de la porteuse, en même temps que le signal de fréquence  $f_2(t)$ .

Ce signal de fréquence  $f_2(t)$  est la partie basse du mélange entre le signal de sortie du VCO produisant la porteuse GSM et le signal fabriqué par la boucle de synthèse LO1.

$$f_2(t) = f(t) - f_3(t) = f(t) - [685 + n.0,2]$$

Lorsque la boucle de synthèse de la porteuse fonctionne, on a égalité entre les fréquences à l'entrée du comparateur de phase, soit  $f_1(t) = f_2(t)$  :

$$f_1(t) = 195 + k.s(t) = f_2(t) = f(t) - [685 + n.0,2] \quad \text{d'où}$$

$$f(t) = 195 + k.s(t) + 685 + n.0,2$$

soit

$$f(t) = 880 + n.0,2 + k.s(t)$$

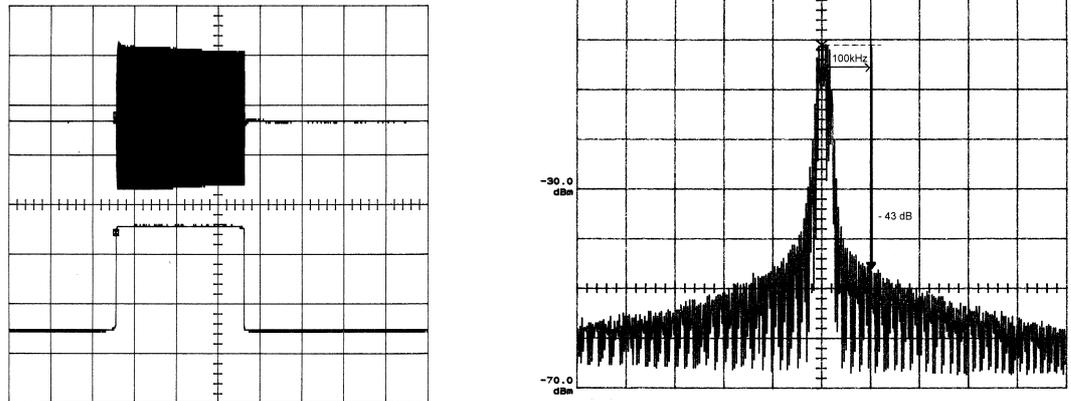
On obtient bien une porteuse modulée en fréquence, à une fréquence déterminée par la valeur du paramètre  $n$  lié aux diviseurs du synthétiseur LO.

## 11- Maîtrise du spectre par contrôle du niveau émis :

Dans le standard GSM le temps est divisé en trames de durée 4,615 ms qui sont elles-mêmes divisées en 8 intervalles de temps ( time slot) qui durent chacun 577µs.

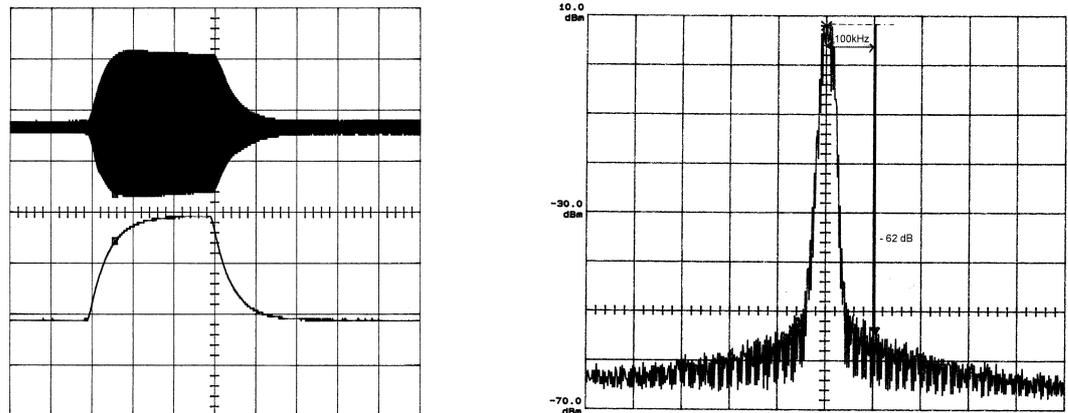
Ce poste GSM émet donc les données numériques sous forme de salves ou burst de durée 577µs et le caractère discontinu de cette émission est à l'origine d'un nouvel élargissement du spectre comme le montrent les figures ci-dessous :

Figure 18.  
Spectre d'une porteuse en salve.



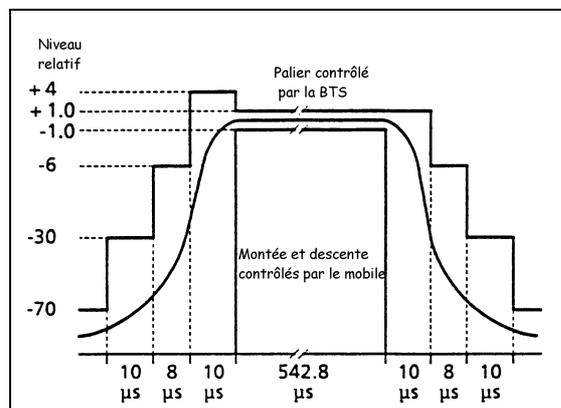
Si on introduit un temps de montée et de descente en puissance du signal, le niveau des lobes latéraux est considérablement abaissé.

Figure 19.  
Spectre d'une porteuse en salve à transitions progressives.



Comme précédemment au niveau du signal binaire, une montée progressive de l'émission permet de limiter l'encombrement spectral. C'est la raison pour laquelle la norme GSM prévoit un gabarit de montée en puissance lors de l'émission d'un burst.

Figure 20.  
Gabarit de montée et descente en puissance du GSM.



Pour une occupation spectrale minimale, la forme exacte de la courbe de montée et de descente en puissance a une grande importance et fait l'objet d'une calibration précise dans les mobiles.

Ce profil est défini par la consigne appliquée au dispositif de régulation du niveau RF.

## 12- La régulation de la puissance émise :

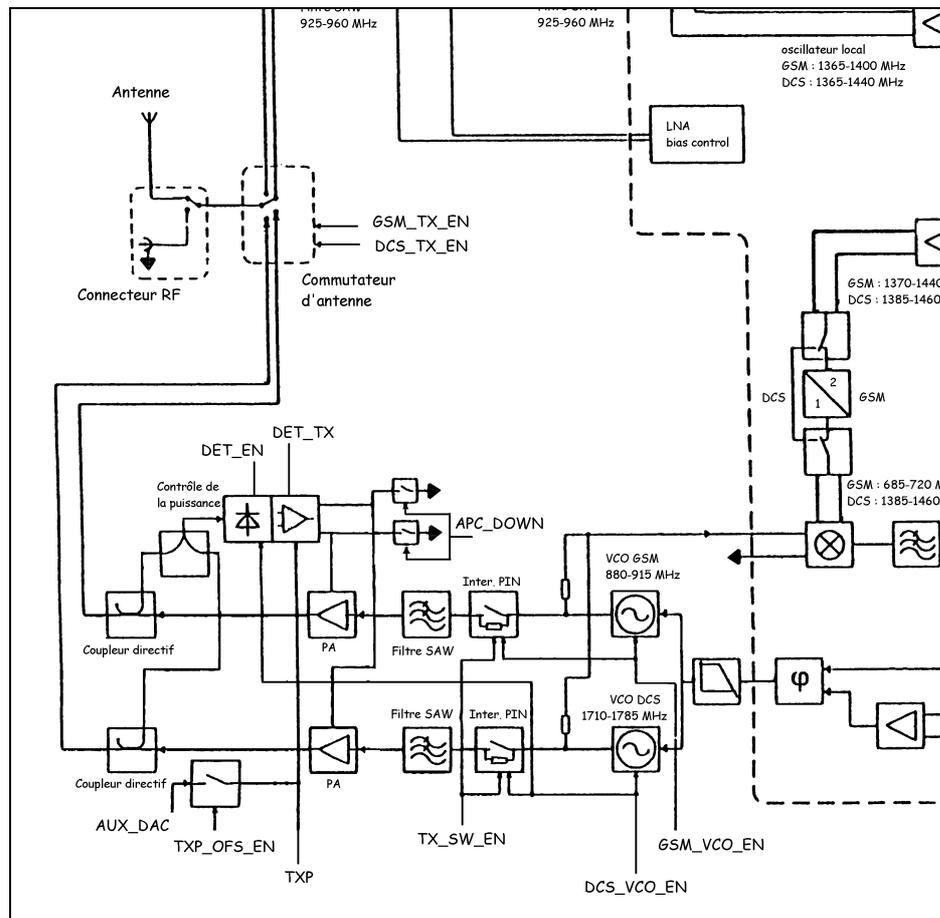
La puissance maximale que doivent fournir les PA (Power Amplifier) sont 2W pour le GSM (33dBm) et 1W pour le DCS (30 dBm). L'alimentation des PA est reliée directement à la batterie ce qui veut dire que celle-ci doit être capable de fournir le courant maximum nécessaire pendant un burst.

Le rendement des PA étant d'environ 50%, ils doivent pouvoir évacuer une énergie non négligeable à l'origine de l'échauffement du mobile.

Ce contrôle de la puissance est indispensable pour 2 raisons :

- en phase d'émission, la puissance est réglée à une valeur juste suffisante par la station de base pour une liaison sans erreurs et une consommation minimale
- en début et fin d'émission, la forme de la montée et de la descente de la puissance est contrôlée par le circuit de gestion du mobile, pour un encombrement spectral minimal

Figure 21.  
Les circuits de contrôle de la puissance émise.



La boucle APC (Automatic Power Control) est composée de plusieurs éléments :

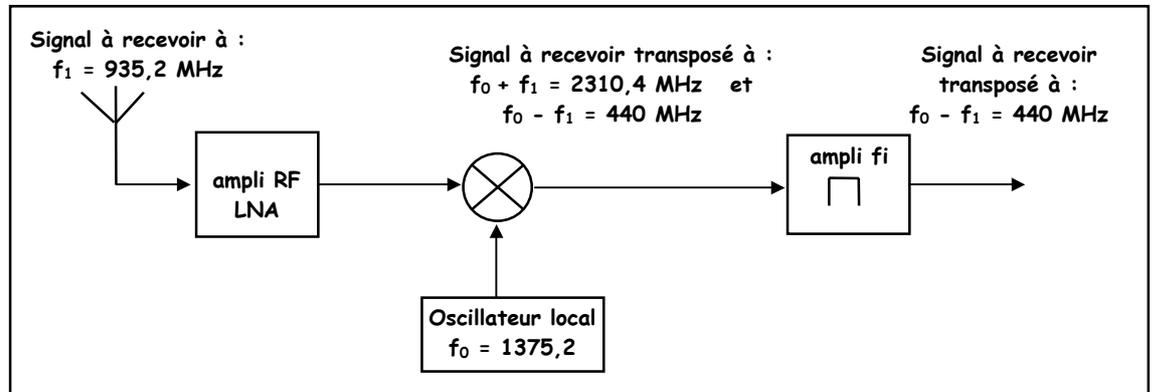
- coupleur directionnel, il permet de mesurer par couplage le niveau de sortie des PA, il joue donc le rôle de capteur dans la boucle de régulation. Il introduit une perte d'environ 0,3dB sur le signal de sortie, l'adaptation d'impédance est donc très importante.
- Level control, ensuite par le jeu d'un duplexeur et d'un comparateur, le signal de sortie est comparé à une consigne TXP générée par le circuit de contrôle de la puissance. Puis, grâce à une « charge pump » on transforme cette erreur en une tension Vc, tension de contrôle du PA.

### 13- La réception des signaux de la station de base :

Dans le téléphone mobile, une structure classique à changement de fréquence permet de sélectionner le signal de la BTS qu'on souhaite recevoir.

Prenons un exemple appliqué au EGSM, avec des fréquences à recevoir allant de **925 MHz à 960 MHz**, un espacement entre les canaux de **200 kHz**, et une fréquence intermédiaire de filtre  **$f_i = 440$  MHz**

Figure 22.  
Exemple de réception du canal 1.



Si on désire recevoir une émission de la station de base à  **$f_1 = 935,2$  MHz**, ou pourra placer l'oscillateur local à :

$$f_0 = f_1 + f_i = 1375,2 \text{ MHz} \quad \text{ou} \quad f_0 = f_1 - f_i = 495,2 \text{ MHz}$$

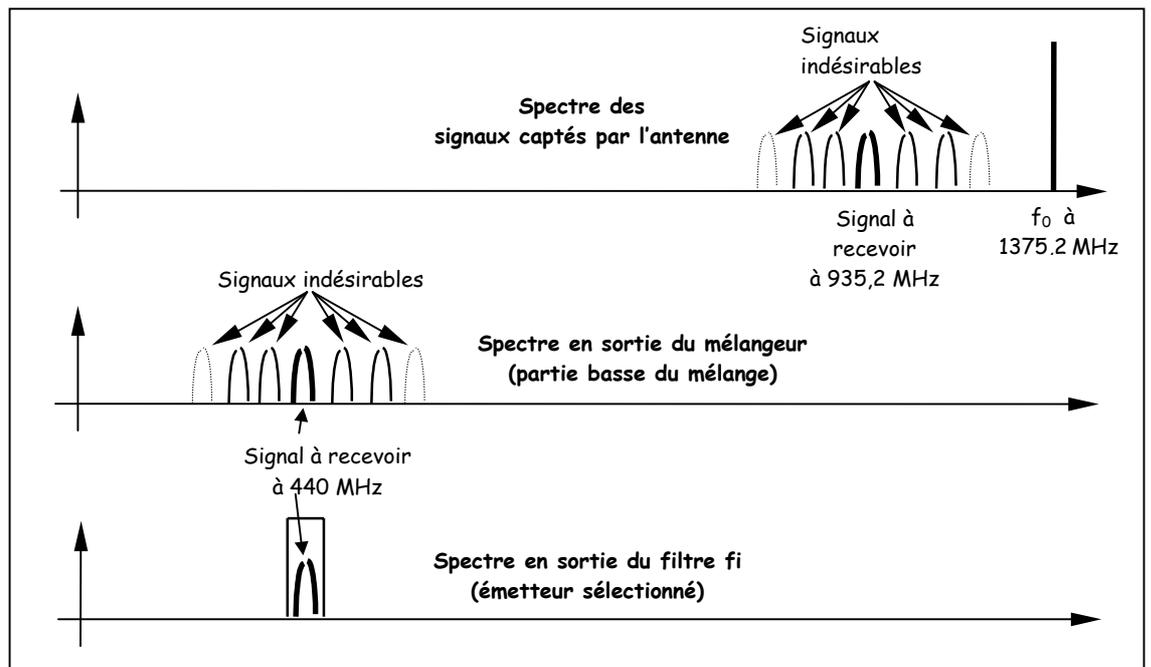
Dans le GSM, c'est la première solution qui a été retenue, soit :  **$f_0 = f_1 + f_i = 1375,2$  MHz**

En sortie du mélangeur, l'émission visée se retrouve transposée à deux fréquences qui sont :

$$f_0 + f_1 = 2310,4 \text{ MHz} \quad \text{et} \quad f_0 - f_1 = 440 \text{ MHz}$$

Tous les signaux captés par l'antenne subissent la transposition en fréquence par mélange avec l'oscillateur local et se retrouvent donc tous au voisinage de la fréquence intermédiaire.

Figure 23.  
Spectre des signaux dans la chaîne de réception et rôle du filtre  $f_i$ .



Le filtre de fréquence intermédiaire a donc un rôle fondamental car il assure la **sélectivité du récepteur**.

## 14- Le problème de la fréquence image :

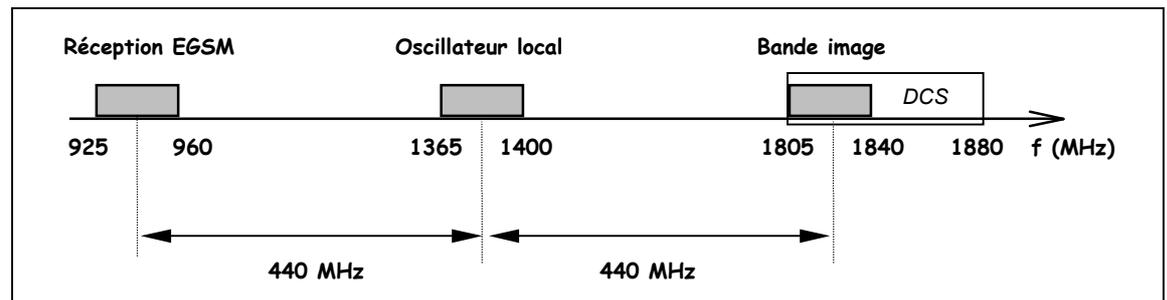
La structure précédente, presque idéale, a néanmoins un petit inconvénient, à savoir que 2 émetteurs seront reçus pour une valeur donnée de l'oscillateur local  $f_0$ .

Par exemple, si on veut recevoir une émission de la station de base à  $f_1 = 935,2$  MHz on réglera la fréquence de l'oscillateur local à  $f_0 = 1375,2$  MHz. Malheureusement, la fréquence  $f_1 = f_0 + f_i = 1815,2$  MHz mélangée à  $1375,2$  MHz tombera aussi à 440 MHz.

Cette deuxième fréquence  $f_1$  est appelée **fréquence image de  $f_1$** . On voit que l'émetteur est séparé de son image par un intervalle égal à  $2 \cdot f_i$ .

La bande de fréquences reçues par un GSM a donc une **bande image** qui se trouve à  $2 \cdot f_i = 880$  MHz au dessus de la bande de réception du GSM et qui tombe dans la gamme des fréquences DCS émises par les stations de bases.

Figure 24.  
Position de la  
bande image  
du EGSM.

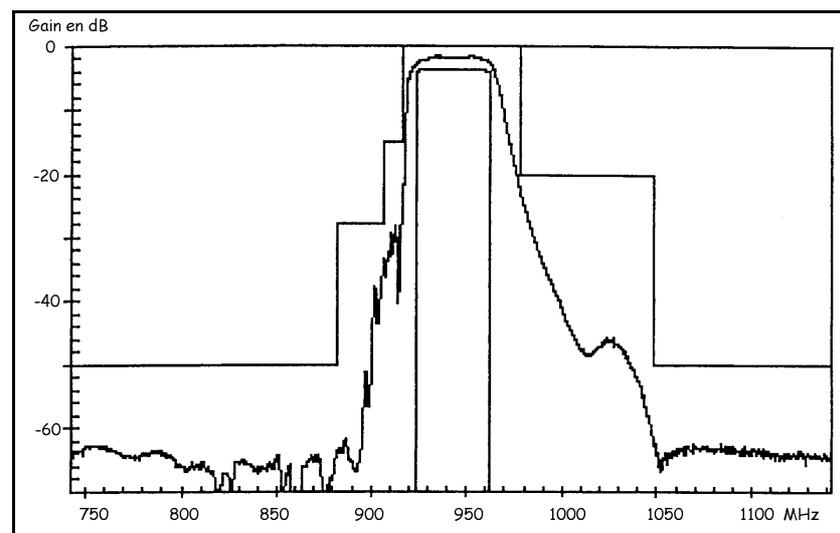


Pour éliminer le risque bien réel de réception des signaux parasites provenant d'un éventuel émetteur DCS situé dans la bande image, celle-ci doit être filtrée dès l'entrée du récepteur.

C'est le rôle du **filtre de bande** placé entre l'antenne et le mélangeur et centré au milieu de la bande à recevoir soit à une fréquence de:  $f_{centrale} = 942,5$  MHz.

Les filtres de bande sont des **filtres à Onde de Surface** ( FOS ou Surface Acoustic Wave ) et plus récemment céramiques ajustés en usine et pouvant donc être implantés directement sur la carte sans réglage.

Figure 25.  
Exemple de  
filtre de bande  
destiné au GSM.



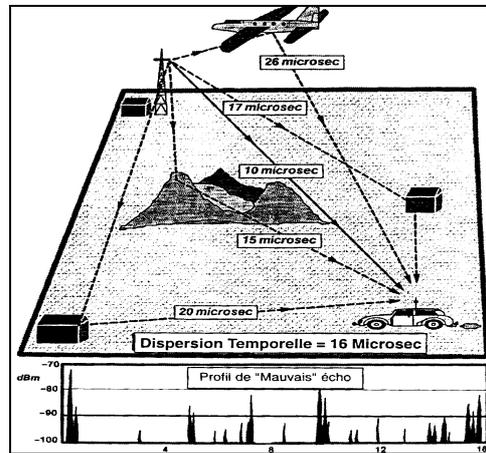


## 16- L'égalisation du signal à la réception :

En sortie de l'étage de démodulation on dispose de signaux analogiques RXI et RXQ assez dégradés du fait des aléas de propagation et des réflexions de l'onde sur les obstacles naturels et les immeubles.

Chaque réflexion parasite est caractérisée par son niveau et son retard, la fréquence n'étant pas affectée par la réflexion sur un obstacle fixe.

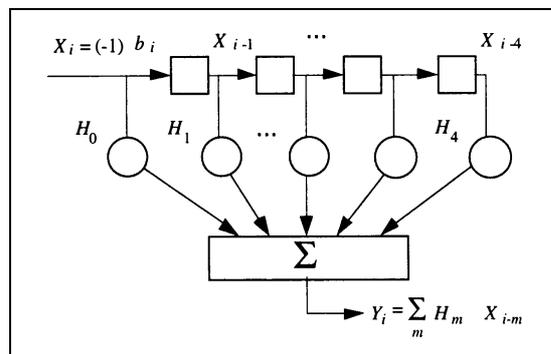
Figure 27.  
Les trajets multiples dans une liaison base-mobile.



Le signal principal et les échos sont traités par le récepteur et sont démodulés. On retrouve donc en sortie du récepteur les signaux RXI et RXQ correspondant au signal principal qui se mélangent avec des signaux identiques caractérisés des retards et des niveaux variables.

Le résultat est une déformation des signaux RXI et RXQ et cette déformation peut être évidemment à l'origine d'erreurs de transmissions et donc d'une dégradation de la qualité.

Figure 28.  
Structure du filtre modélisant les trajets multiples à un instant donné.

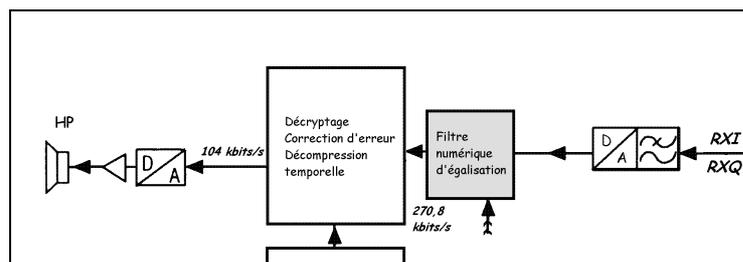


Pour trouver une solution à ce problème, on considère que le canal de transmission, qui est l'espace entre l'antenne d'émission et de réception, se comporte comme un filtre numérique non-récurrent.

Les amplitudes  $H_i$  des différents échos peuvent varier rapidement, surtout si on se déplace en environnement urbain, et sont déterminés par la station de base à partir de la déformation de la **séquence d'apprentissage** placée au milieu du burst.

Celle-ci en déduit les paramètres du canal de transmission ( nombre et importance des échos) et envoie les paramètres nécessaires à un **filtre égalisateur** placé entre le démodulateur et le traitement numérique.

Figure 29..  
La place du filtre d'égalisation dans le mobile.



Les échos dépendant de la position du poste GSM, le contrôle du canal de transmission doit se faire en permanence, d'où l'existence d'une séquence d'apprentissage dans chaque burst.

## 17- Le traitement numérique à la réception :

Les signaux RXI et RXQ sortant de l'étage de réception entrent dans le DSP par un CAN

- le filtre d'égalisation compense les déformations liées à la propagation
- les données binaires sont ensuite extraites des signaux RXI et RXQ par un dispositif de prise de décision logiciel
- elles sont décryptées et subissent la décompression temporelle
- le vocodeur reçoit ces données et restitue le signal binaire vocal à l'aide du signal d'excitation et des 2 filtres LPT et LTC
- ce signal binaire est converti en analogique par le CNA, amplifié et envoyé sur le haut-parleur

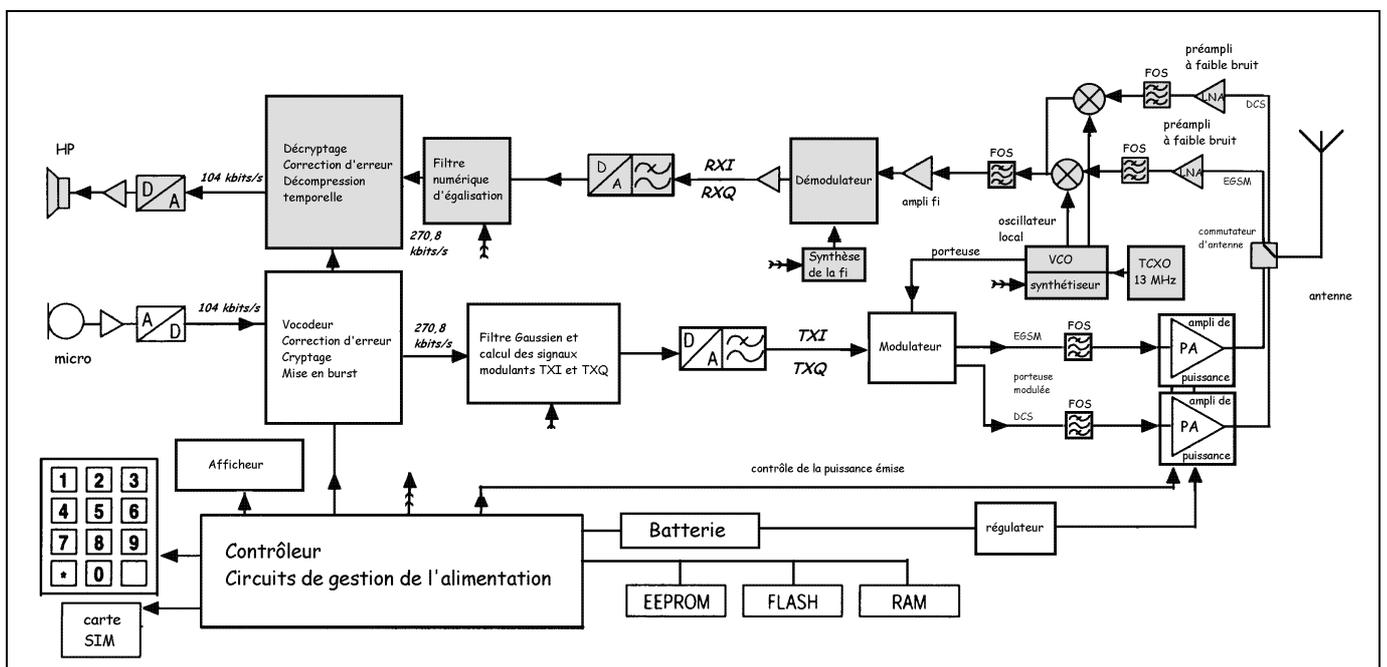
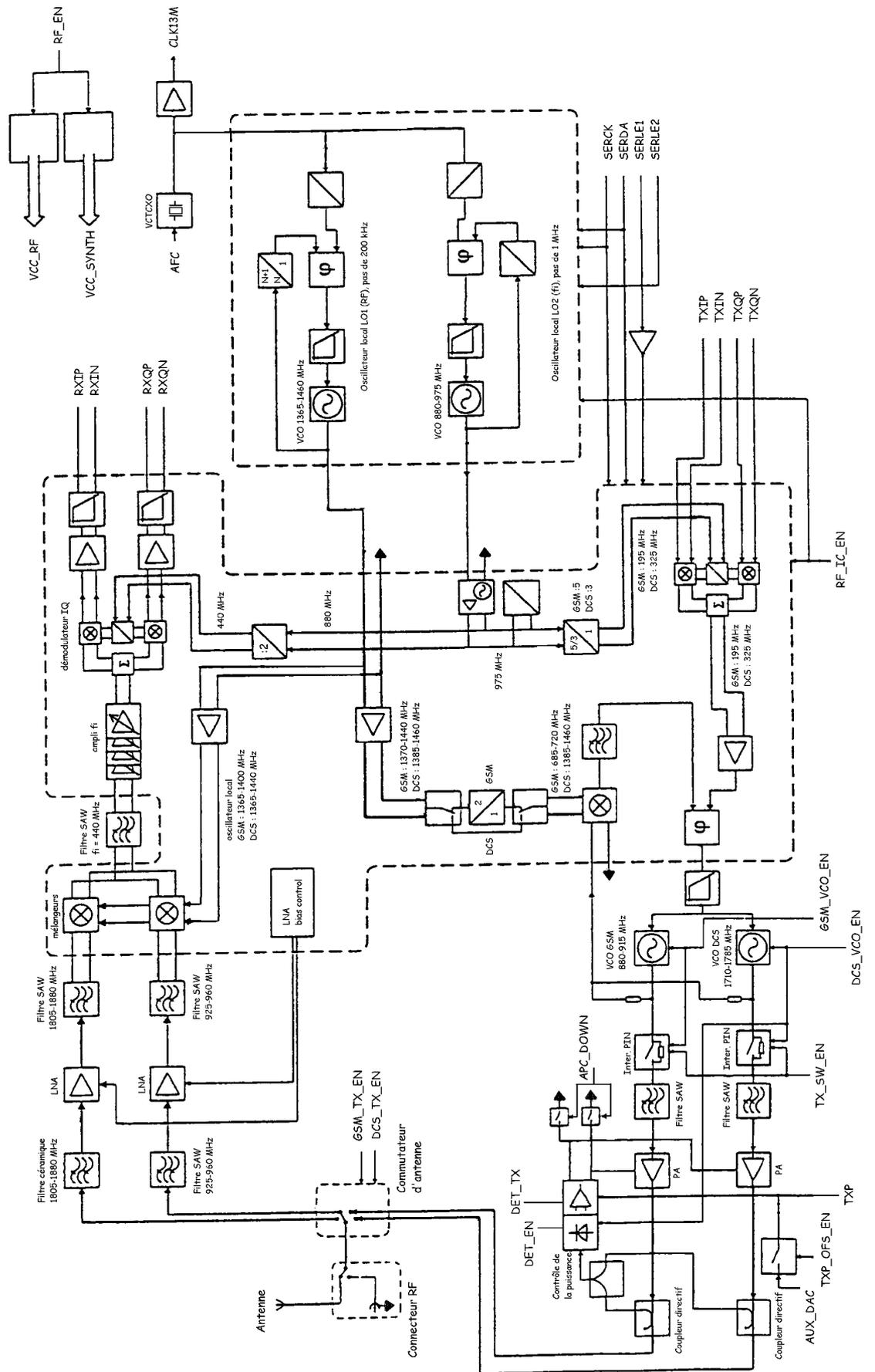
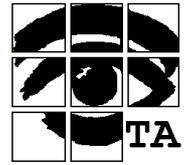


Figure 30. La structure complète de la partie réception d'un mobile.

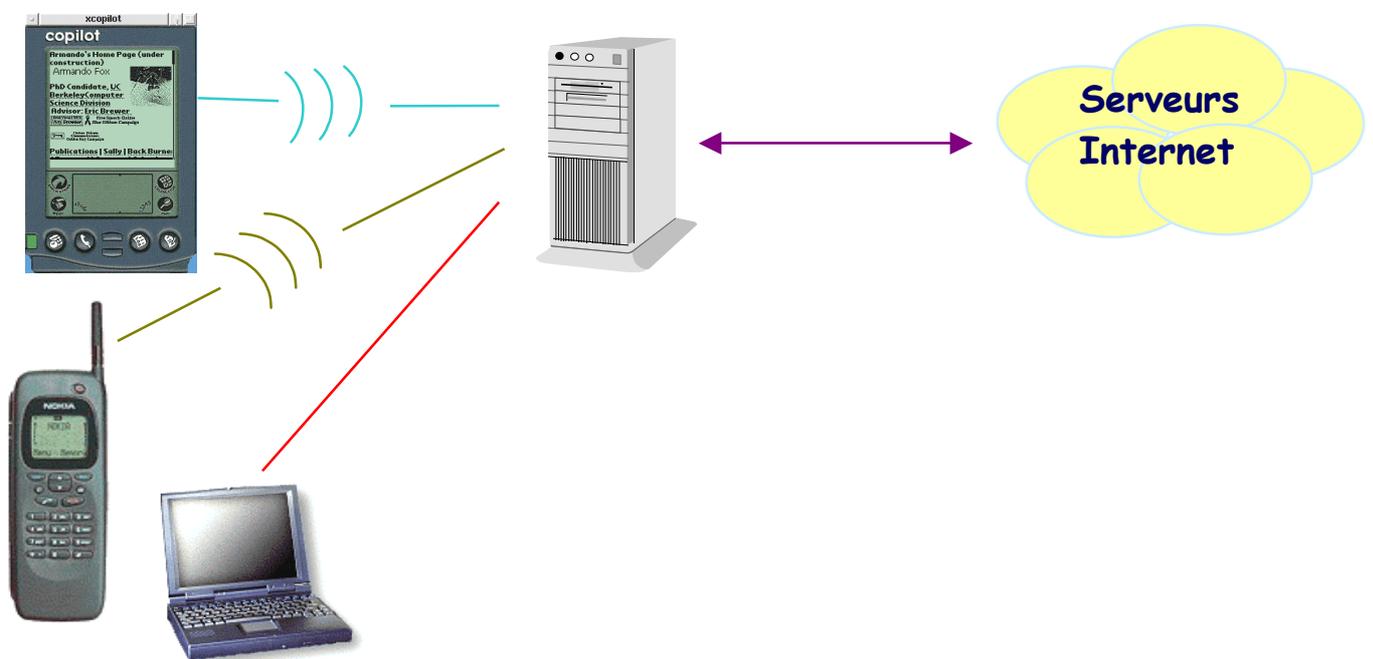
Exemple de schéma fonctionnel des circuits RF d'un mobile Sony



**SONY**



# L'évolution du GSM dans la transmission de données



**jean-philippe muller**

## 1) Le GSM et la transmission de données

La transmission des données numériques à l'aide d'un téléphone GSM se fait en mode « connecté » qui correspond au fonctionnement d'une ligne téléphonique standard.

Il consiste à établir un lien physique entre deux points ou deux correspondants. Une fois le numéro d'appel composé, un circuit est affecté en permanence à la communication, sans aucun partage avec les autres clients.

Le réseau GSM est constitué des entités suivantes :

- **BTS** (base transceiver station) : équipement composé des émetteurs/récepteurs radio
- **BSC** (base station controller) : gère la ressource radio (allocation de canal, hand-over)
- **MSC** (mobile-service switching center) : commutateur gérant les appels départ et arrivée
- **GMSC** (gateway MSC) : passerelle réalisant l'interface entre le réseau d'un opérateur et le RTC
- **HLR** (home location register) : base de données contenant les profils et localisation des abonnés

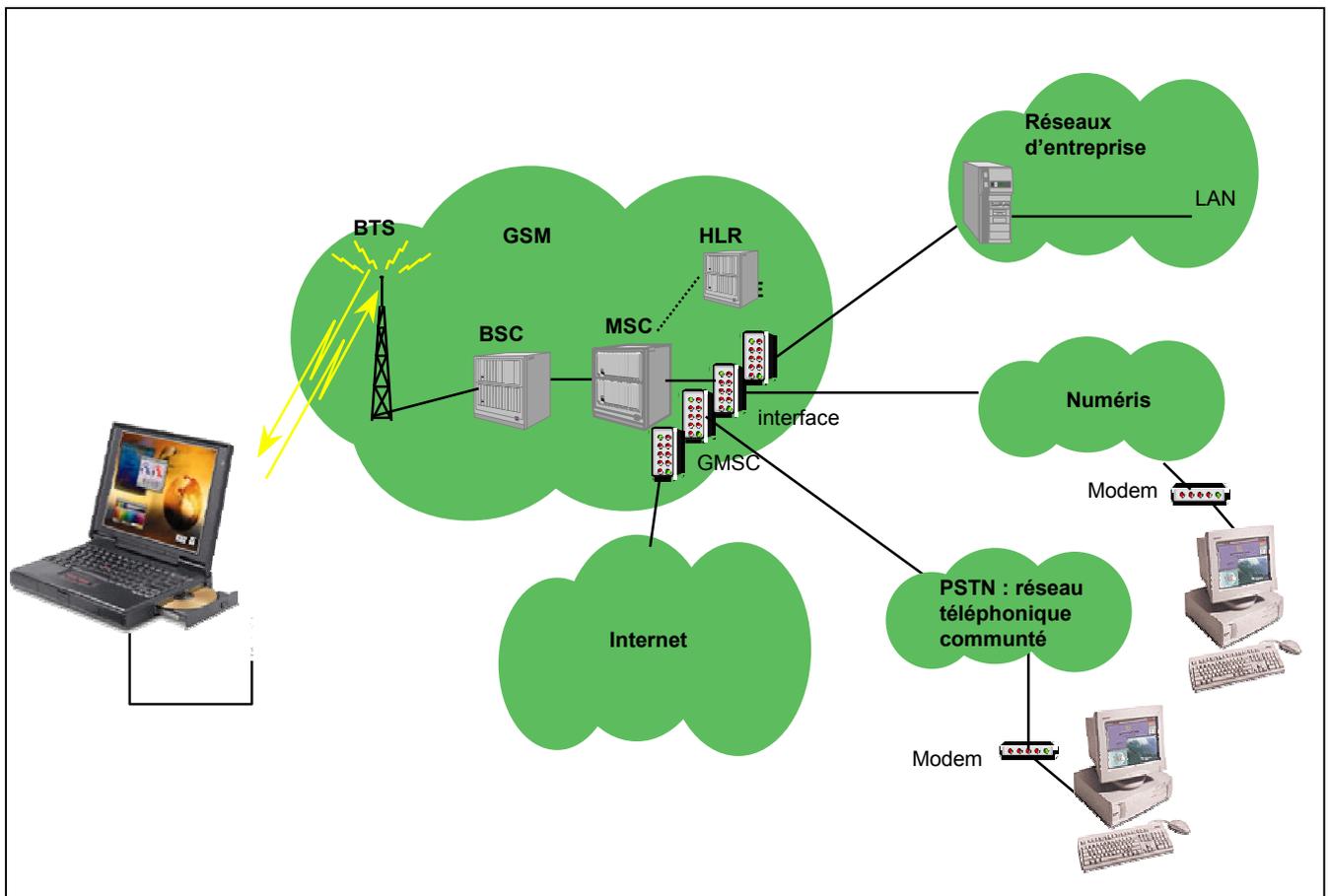


Figure 1. La transmission de données en mode « data » par le GSM à 9,6 kbits/s

Pour transmettre des données, le mobile travaille de la façon suivante :

- les données sont regroupées en blocs de 240 bits
- ces blocs sont protégés par codage convolusionnel, ce qui fait passer à 456 bits
- ces 456 bits sont répartis sur 4 bursts ( 57 bits avant la « training sequence » et 57 bits après)

Ce processus conduit donc à une transmission de 240 bits dans 4 trames, soit  $4 \times 4,62 = 18,5$  ms ce qui correspond à un débit brut de  $240/18,5 = 13$  kbits/s et un **débit utilisable de 9,6 kbits/s** ( si on ne tient pas compte de l'en-tête du bloc et des bits de vérification en queue de bloc).

Si on se contente d'une protection moindre, on utilisera un codage convolusionnel moins coûteux, ce qui permet de partir de blocs de 290 bits et conduit à un **débit utilisable de 14,4 kbits/s**.

## 2) Le multiplexage temporel dans le GSM

A l'intérieur d'une cellule, on dispose donc d'un certain nombre de canaux ( 61 pour la bande GSM simple) qu'il faut répartir entre les différents utilisateurs.

Les bandes GSM sont divisées en canaux de largeur 200 kHz. Mais lors d'une conversation courante, à cause des silences intervenant dans le dialogue et surtout grâce aux techniques de compressions de débit, un téléphone mobile n'a pas besoin du canal de transmission en permanence.

C'est pour cette raison que chaque porteuse est divisée en 8 intervalles de temps appelés **time-slots**. La durée d'un slot a été fixé pour le GSM à 7500 périodes du signal de référence fourni par un quartz à 13 MHz qui rythme tous les mobiles GSM :

$$T_{\text{slot}} = 7500/13 \text{ MHz} = 0,5769 \text{ ms} \quad \text{soit environ } 577 \mu\text{s}$$

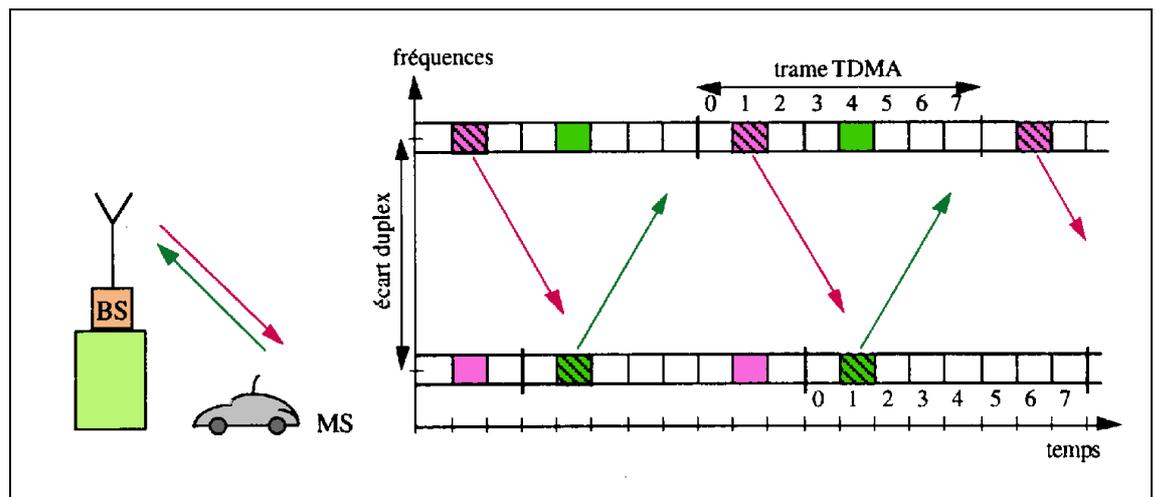
Un mobile GSM n'utilisera qu'un time-slot , on pourra ainsi faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence de porteuse. Un slot accueille un élément de signal radioélectrique appelé **burst**.

L'accès TDMA permet à différents utilisateurs de partager une bande de fréquence donnée. Sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8.

La durée d'une trame TDMA est donc :  $T_{\text{TDMA}} = 8 T_{\text{slot}} = 4,6152 \text{ ms}$

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

Figure 2.  
Fonctionnement  
de la liaison  
bidirectionnelle.



Ces échanges se font sur deux fréquences différentes et dans des time-slots différents. Au niveau du mobile, l'émission et la réception sont décalés dans le temps de 3 time-slots. Pour conserver la même numérotation des slots, la synchronisation de la trame TDMA montante est décalée aussi de 3 time-slots.

Le mobile reçoit donc le signal émis par la base à la fréquence  $f$  durant un time slot soit  $577 \mu\text{s}$  , puis 3 time-slots soit  $1,7 \text{ ms}$  plus tard, émet son signal vers la station de base sur une fréquence plus basse ( $f-45 \text{ MHz}$  pour le GSM).

### 3) Le problème du débit avec le GSM

La part de marché prise par la téléphonie mobile n'a cessé de s'accroître ces dernières années répondant à un besoin, réel ou suscité par des opérations de marketing, de mobilité des usagers.

Parallèlement, les besoins (réels ou suscités etc ...) en trafic de données n'ont cessé d'augmenter. Aussi le transfert de données sur un réseau mobile est devenue un des enjeux en matière de télécommunications pour les prochaines années.

Le réseau GSM de base ne propose qu'un débit de 9,6 kbits/s. Ce débit est parfaitement satisfaisant pour la voix, application pour laquelle le GSM a été développé.

Suite à l'émergence de nouvelles applications du GSM, ce débit de base s'avère actuellement insuffisant pour un certain nombre d'applications : transfert de fichiers, d'images, de vidéos, accès à Internet ...

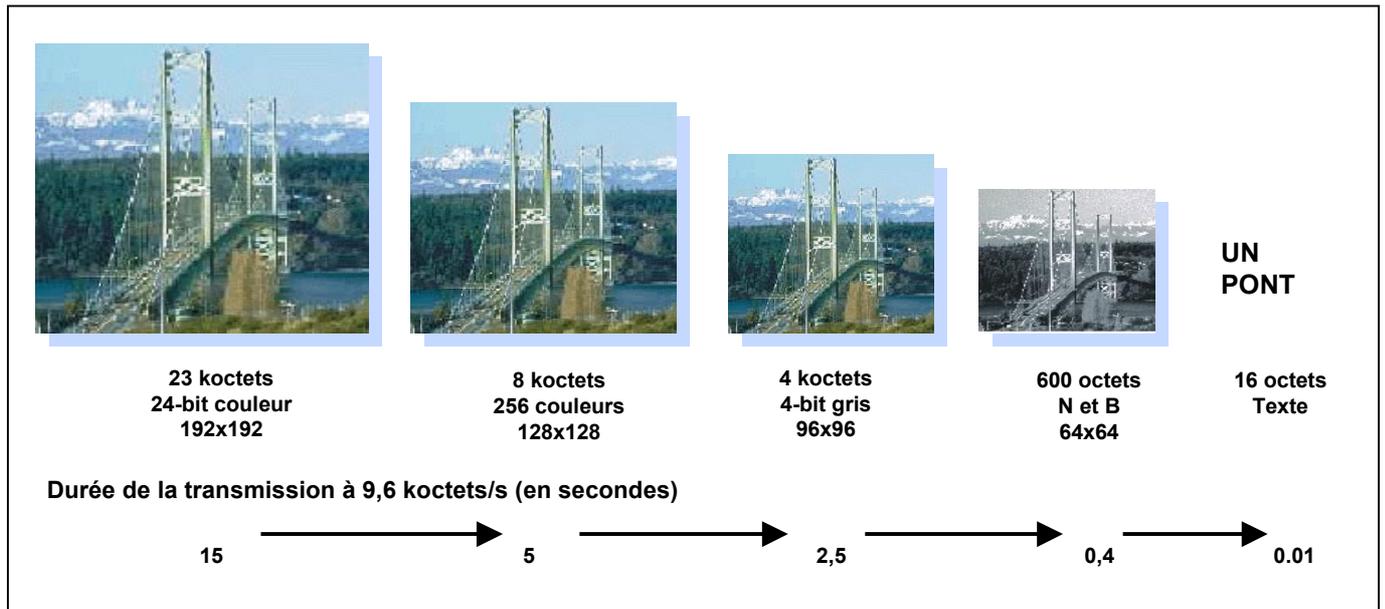
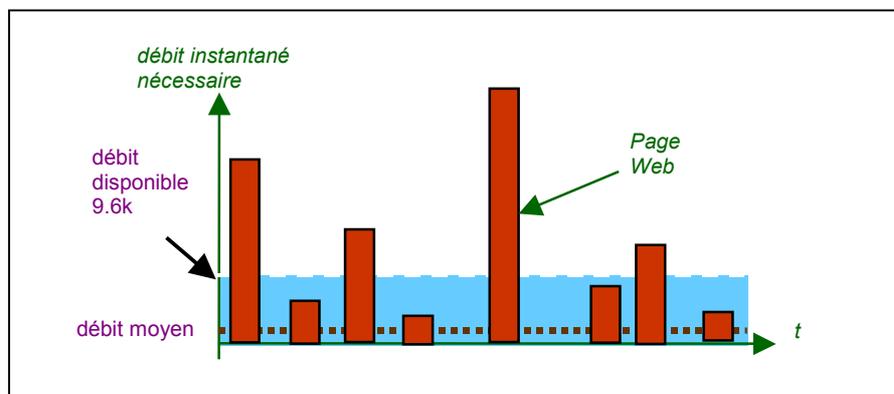


Figure 3. Relation entre taille du fichier et durée de transfert

Parallèlement à cette limitation de débit, il faut bien admettre que le canal de transmission GSM est souvent très mal utilisé lors du transfert de données

- si on surfe sur Internet, le canal de transmission est utilisé à 5% en moyenne
- lorsqu'on répond à ses Emails en direct, le canal de transmission est utilisé à 2%
- lorsqu'on télécharge ses Emails, le canal de transmission est utilisé à 10%

Figure 4.  
Débit moyen et  
débit  
instantané.

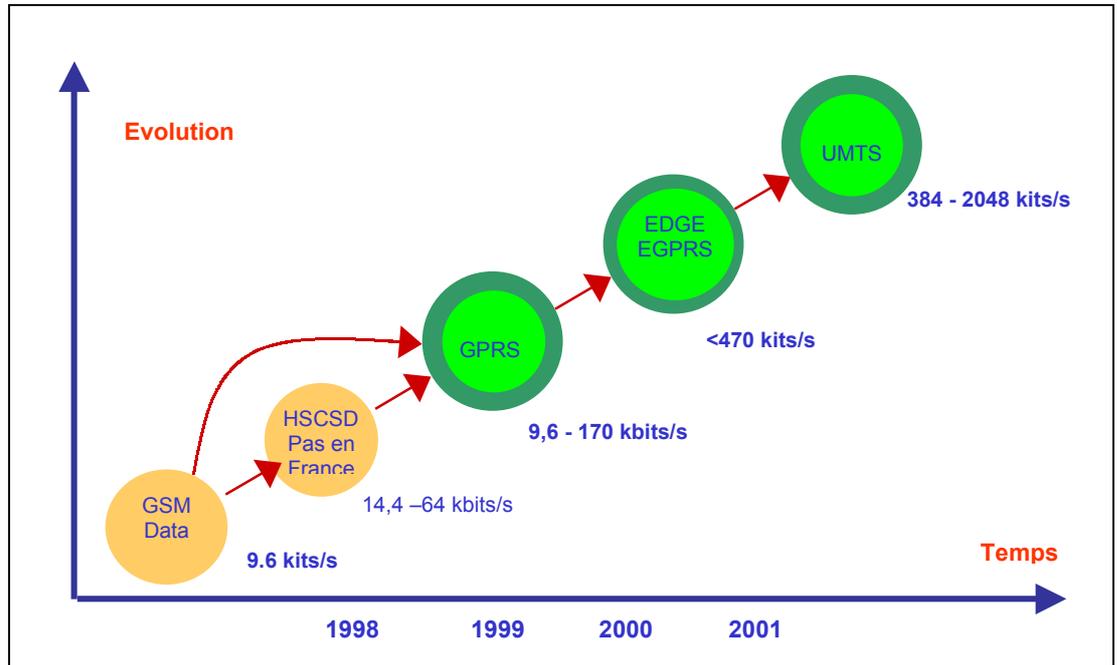


De nouvelles structures sont donc nécessaires pour offrir aux utilisateurs un confort plus grand lors de l'utilisation de l'Internet sur les périphériques mobiles : c'est la raison d'être du GPRS et dans un proche avenir de l'EDGE et de l'UMTS.

#### 4) Les différentes phases d'évolution du GSM : le GPRS

Dans cette course au débit, on peut distinguer différentes évolutions, certaines mineures, d'autres plus importantes :

Figure 5.  
L'augmentation  
du débit après  
le GSM.



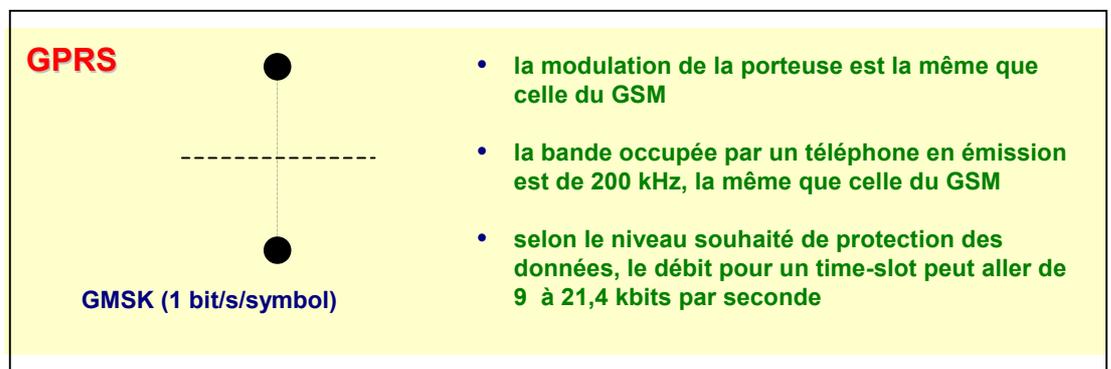
⇒ une première augmentation de débit a pu être obtenue par **la technique HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)** qui permet d'utiliser pour la transmission 2, 3 ...6 time-slots du GSM avec un débit de 14,4 kbits/s par time-slot (avec protection réduite contre les erreurs). On peut ainsi arriver à un débit non symétrique maximal de 64 kbits/s avec un investissement minimal.

Cette possibilité d'augmentation de débit n'a pas été proposée par les opérateurs français.

⇒ **le standard GPRS (General Packet Radio Service)** correspond à la seconde évolution importante du GSM vers les normes de standard à débit élevé. Son fonctionnement est basé sur une allocation dynamique des time slots en fonction des besoins de débit et sera décrit dans les pages suivantes.

Outre l'accès à Internet à partir des mobiles traditionnels, il permet un meilleur accès aux e-mails comportant des fichiers joints. Le mobile, dans ce cas, est considéré comme un modem, et doit être associé à un ordinateur portable ou un assistant personnel.

Figure 6.  
Caractéristiques  
principales du  
GPRS.



## 5) Les différentes phases d'évolution du GSM : l'EDGE

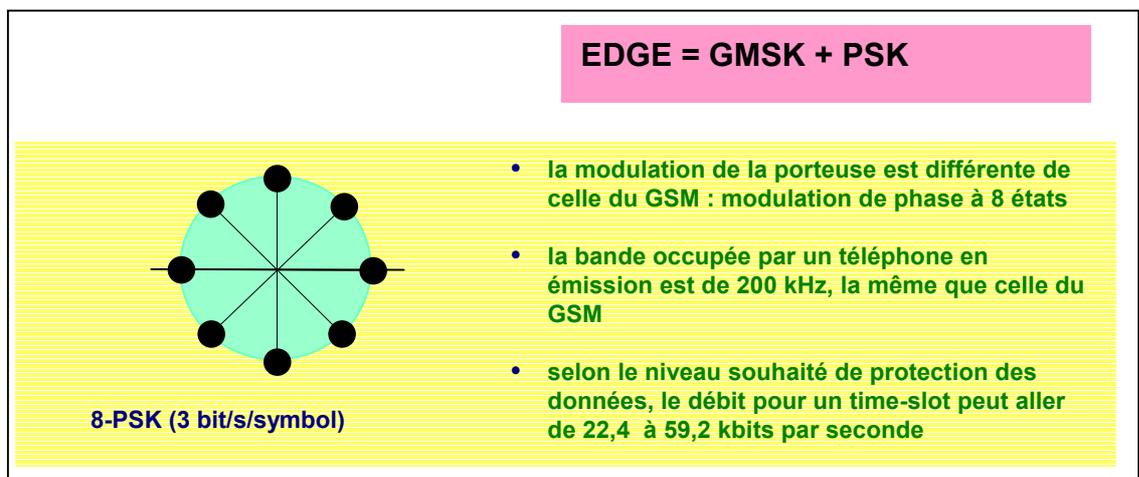
L'évolution vers le GPRS sera suivie dans les années qui viennent par l'EDGE. (dans certains cas) et par l'UMTS.

⇒ **l'EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution)

- c'est un réseau de transition entre le GPRS et l'UMTS, permettant une augmentation de débit grâce à une modulation à 8 états au lieu de 2 pour le GMSK
- il servira de roue de secours aux opérateurs n'ayant pas pu avoir la licence UMTS
- pas aussi performant que ce dernier (les débits ne sont que 2 à 3 fois supérieurs à ceux du GPRS, et ne fonctionnent qu'à très faible mobilité), EDGE a l'avantage d'être nettement moins cher que l'UMTS puisqu'il ne nécessite pas l'installation de nouveaux équipements : il s'appuie totalement sur les réseaux existants (GSM et GPRS)

Bien que certains opérateurs (Itineris-Orange, SFR ... qui l'eût cru ?) ne voient pas l'intérêt de se lancer dans une norme si transitoire, d'autres (comme Bouygues) utiliseront EDGE qui devrait être disponible début 2003 (?) .

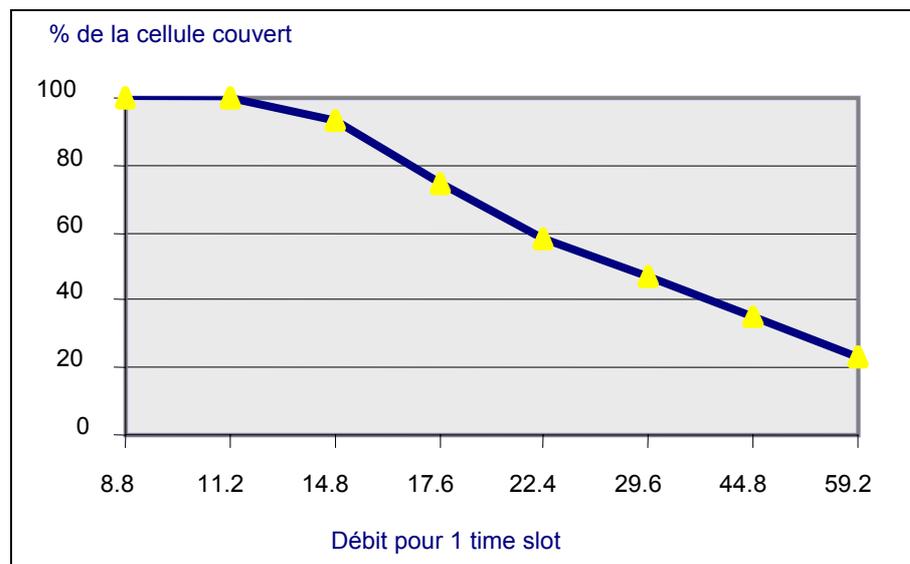
Figure 7.  
L'augmentation  
du débit grâce  
à la 8-PSK.



L'augmentation de débit obtenue grâce à la modulation de phase à 8 états se fait au détriment de la qualité de la liaison, puisque ce type de modulation est plus sensible aux perturbations.

Ce débit élevé ne pourra donc pas être disponible sur la totalité de la cellule couverte par la station de base.

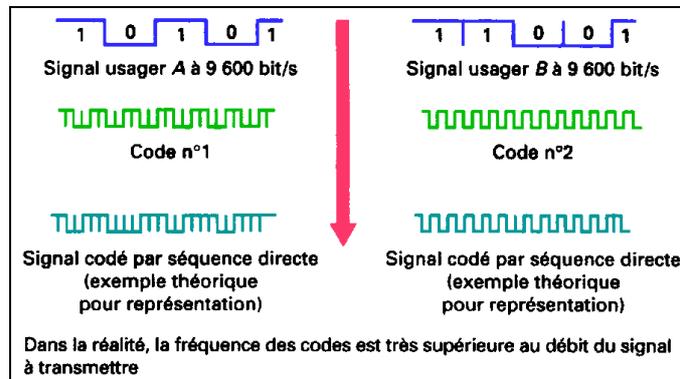
Figure 8.  
La couverture  
limitée du  
standard  
EDGE.



## 6) Les différentes phases d'évolution du GSM : l'UMTS

Le système UMTS utilise une technologie d'« étalement de spectre » par code, c'est-à-dire que l'information à transmettre est étalée sur une plus grande largeur de bande que celle qui est strictement nécessaire par mélange avec une séquence pseudo-aléatoire propre à chaque usager individuel.

Figure 9.  
Principe du codage par séquence pseudo-aléatoire.

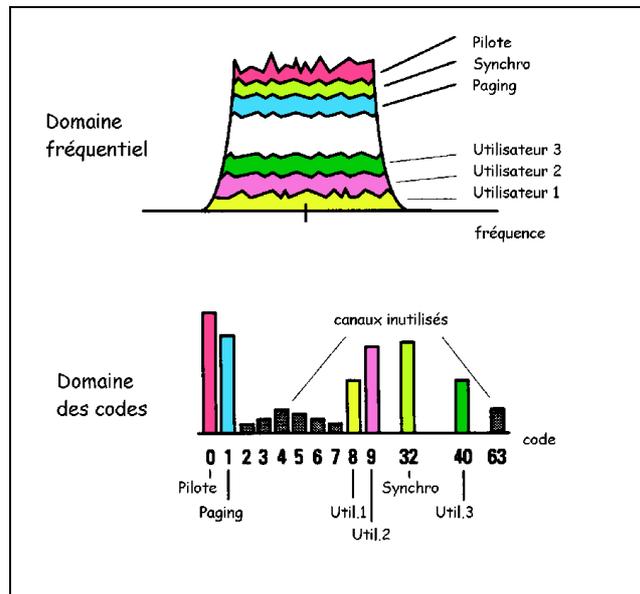


Pour UMTS, une séquence pseudo-aléatoire, de débit 5 Mbits/s très supérieur à celui du signal à transmettre, est mélangé au signal d'information.

Le signal ainsi produit module après filtrage passe-bas, une porteuse en fréquence ou en phase comme pour le GSM. Un certain nombre de communications seront transmises simultanément sur la même fréquence, chaque correspondant étant caractérisé par un code particulier.

Le spectre d'un canal UMTS est constitué par l'empilement des spectres des émissions des différents utilisateurs du canal, chaque émission ayant, du fait du caractère pseudo-aléatoire du code, un spectre sensiblement plat, assez proche de celui d'un bruit blanc.

Figure 10.  
Allure théorique et pratique du spectre d'un signal TDMA.



A l'autre extrémité du système, le récepteur connaît le code numérique utilisé pour moduler le signal d'origine et peut donc isoler et récupérer l'information destinée à un usager particulier.

La technique d'étalement de spectre, employée initialement pour assurer la confidentialité des communications militaires., présente un certain nombre d'avantages :

- peu sensible aux trajets multiples, il fournit une meilleure qualité que le GSM en environnement urbain, et pour une puissance d'émission plus faible
- sa confidentialité est bien assurée grâce à des codes de longueur suffisante
- les mêmes fréquences sont utilisables dans toutes les cellules, seuls les codes changent
- le débit du signal à transmettre doit rester inférieur à celui du code, ce qui permettra des applications à haut débit ( Internet, vidéo ...)
- pour l'UMTS, les bandes montantes et descendantes sont 1920-1980 MHz et 2110-2170 MHz. La largeur de canal radio est de 5 MHz.